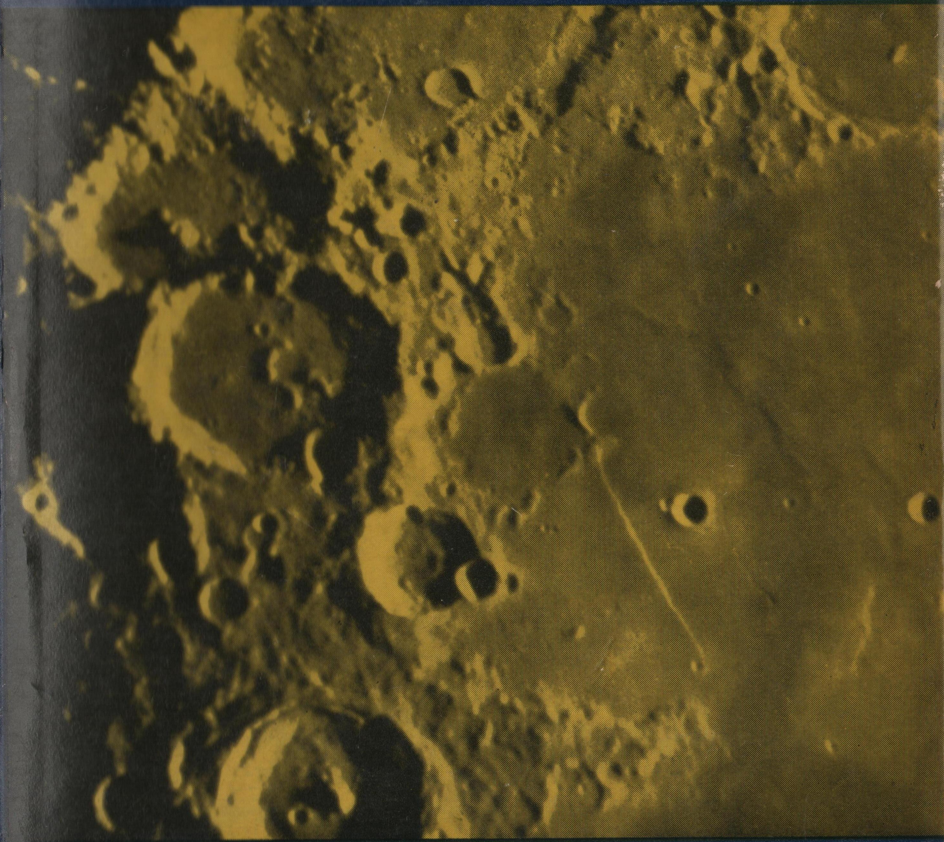
THIEME'S STERRENFOTO-BOEK



BRUNO ERNST

BRUNO ERNST

THIEME'S STERRENFOTOBOEK

THIEME'S
STERRENFOTOBOEK

THIEME'S STERRENFOTO BOEK

Een handboek voor de amateurastronoom
die zelf foto's van hemellichamen wil maken en voor fotografen
die zich interesseren voor sterrenkunde

door

BRUNO ERNST

directeur van de volkssterrenwacht ‚Simon Stevin'

met medewerking van
W. Terlouw, J. Lantwaard, J. Degewij, Ing. Eggeling
en vele amateurastronomen.

N.V. W. J. THIEME & CIE ZUTPHEN

Titelplaat:

Zo begint elke „sterrenfotograaf" zijn carrière: *sterrensporen rond de hemelpool*. Zo'n opname is met elke kamera te maken en door variatie van voorgrond en lengte der sterrensporen kan zo'n „spiegelbeeld van de aardrotatie" steeds opnieuw bekoren. (foto: Hans Vehrenberg, genomen met een Tessar met een brandpuntsafstand van 25 cm op Tri-X; belichtingstijd 3 uur.)

Dit boek is opgedragen aan alle amateurs die belangeloos hun mooiste opnamen ter beschikking stelden. Misschien wilt u bij het bekijken van de foto's af en toe eens bedenken dat achter elke foto een man met ervaring, met een instrument en met hooggespannen verwachtingen stond. Dat deze man buiten (dikwijls in de kou) stond, terwijl zijn huisgenoten voor het tv-toestel zaten of al in bed lagen.... en ten slotte dat er naast elke bijzonder goed geslaagde opname een aantal minder goed gelukte staan, die in dit boek niet gereproduceerd zijn.

Bruno Ernst 1968

Hoofdstuk 1

Honderd miljoen foto's van de Eiffeltoren

Leest u graag in oude astronomieboeken? Astronomieboeken die een tiental jaren geleden geschreven zijn, bevatten reeds gegevens en soms hele hoofdstukken waarvan we kunnen zeggen dat ze *verouderd* zijn. Onze astronomische inzichten groeien en veranderen op het ogenblik snel. Zulke verouderde boeken bedoelen we niet, maar de echte *oude* boeken, waarvan iedereen verwacht, dat de daarin beschreven feiten en theorieën voor een deel niet meer overeenstemmen met de meest recente gegevens van de astronomische wetenschap. In zulke boeken kun je zo heerlijk snuffelen om te kijken hoe de stand van de wetenschap in die tijd was. Men vindt er soms ook unieke gegevens in, sterk gekleurd door het enthousiasme van de prille ontdekking. Zo'n boek is: *De Sterrenhemel, doorzocht met teleskoop en mikroskoop*, een lijvig boek op het einde van de vorige eeuw (1897) door Sijthoff in Leiden uitgegeven. Het was een bewerking (door J. Weeder) van de *Atlas der Himmelskunde* van A. Freiherr von Schweiger - Lerchenfeld. We vinden er een overvloed van gegevens in over de eerste toepassingen van de fotografie in de sterrenkunde. Met een bloemlezing hieruit willen we dit boek beginnen.

„Reeds had Daguerre (de uitvinder van de fotografie) beproefd, evenals het beeld van een aardsch voorwerp ook dat van de maan op zijne plaat te verkrijgen, en Arago, die deze eerste proeven had gezien, uitte groote verwachtingen van de toepassing der nieuwe uitvinding in de astronomie; de vermaarde astronoom voorspelde onder andere, dat het eenmaal gelukken zou photografische afbeeldingen te maken van onze satelliet in enkele minuten, die het langdurige en moeilijke werk der teekening van het maansoppervlak aan het oculair van den kijker zouden overbodig maken. Toch verdienden de eerste maanbeelden van Daguerre ternauwernood die naam."

Dit werd in 1839 beweerd, twee jaar nadat Daguerre een

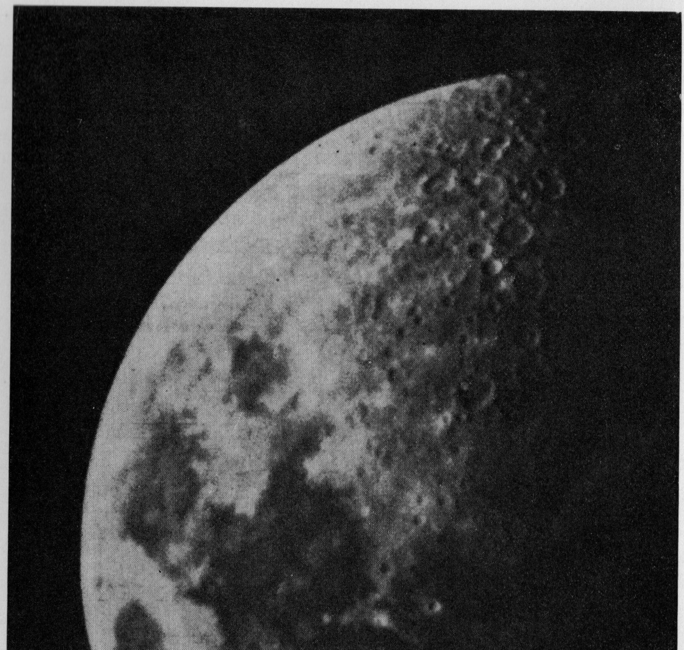
bruikbare methode had gevonden om beelden op een geprepareerde zilverplaat vast te leggen. In 1840 kreeg Draper (New York) de eerste herkenbare maanfoto: belichtingstijd 20 minuten! In 1842 nam de Fransman Lerebours de eerste bruikbare foto van de zon waarop de (toen nog in twijfel getrokken) randverzwakking duidelijk zichtbaar was.

„De astronoom W. C. Bond, directeur der sterrenwacht te Cambridge (N.A.) en de photograaf Whipple hadden reeds in 1850 met behulp van een aequatorialen refractor van 38 cm opening maanbeelden gekregen van 12 cm middellijn na eene pose van 40 secunden. Deze photografieën waren op de wereldtentoonstelling te Londen in 1851 en werden algemeen bewonderd."

Deze „korte" belichtingstijd was mogelijk geworden door de uitvinding der zgn. natte collodiumplaten die heel wat gevoeliger waren dan de geprepareerde zilverplaten van Daguerre. In 1852 begint Warren de la Rue, een Engelse papierfabrikant, met zijn proeven om goede maanfoto's te krijgen op collodiumplaten. Oorspronkelijk volgde hij met de hand! Hij gebruikte een spiegelteleskoop met een spiegelmiddellijn van 33 cm en een brandpuntsafstand van ongeveer 3 meter. De belichtingstijd wist hij terug te brengen tot ongeveer 5 sekonden. Zijn opnamen zijn goed en werden lange tijd niet overtroffen. Ze zijn te vergelijken met de beste maanfoto's genomen met een 75 mm-kijker door amateurs in onze tijd.

„In 1860 deed de photografie hare intrede in de sterrenwacht der Leidsche universiteit. P. J. Kaiser had de hemelphotografie gekozen tot het onderwerp zijner dissertatie en beproefde hare praktische toepassing met den grooten aequatorialen refractor onder den noorder koepel.... Verscheidene zijner maanphotographieën zijn goed gelukt, doch ze zijn evenals die der Engelse onderzoekers, die met refractors werkten, minder goed dan de beste, welke Warren de la Rue met zijn spiegelteleskoop had gekregen." (1)

Dit grote verschil in kwaliteit van foto's genomen met spiegelteleskopen en lenzenkijkers, werd veroorzaakt door de gebrekkige achromasie van de lenzenkijkers voor licht van



1 „Photografische afbeelding der maan vervaardigd aan de Sterrenwacht te Leiden den 5den Junij 1862 door Pieter Jan Kaiser". Belichtingstijd 30 sek. op collodiumplaat, achter de 7 duims Merz-kijker.

golflengten waarvoor de toenmalige emulsies gevoelig waren (vooral de blauwviolette stralen).
L. M. Rutherford (een New-Yorks jurist) onderzocht met een spektroskoop nauwkeurig wat zich nabij het brandpunt van een visueel uitstekend gecorrigeerd objectief afspeelde en hij kwam tot de ontdekking dat het brandpunt van de blauwviolette stralen veel te ver van het brandpunt van de zichtbare stralen lag. Objektieven voor sterrenfotografie zouden heel anders ge-achromatiseerd moeten worden dan objektieven voor visuele waarnemingen.

„In 1864 construeerden Rutherford en Fitz een geheel nieuw objectief, dat achromatisch was voor photografische stralen; dit mag met recht het eerste photografische objectief genoemd worden, het had 29 cm opening en eene brandlengte van 4,5 meter, en gaf voor het oog geheel onbruikbare beelden. Rutherford leerde ook een eenvoudig middel kennen, om de gewone objectieven geschikt te maken voor photografische opnamen; men heeft daartoe slechts den afstand der beide lenzen van het objectief een weinig te vergrooten.... Door zijne schoone maanphotografieën toonde Rutherford de waarde zijner verbetering aan; de lenzen konden weer bij deze toepassing met de spiegels wedijveren; met het photografisch objectief van 29 cm kreeg Rutherford betere beelden dan Warren de la Rue met zijn spiegeltelescoop van 33 cm."

In dezelfde tijd maakte Henry Draper (New York) met een spiegel van 40 cm middellijn (na 1871 met een spiegel van 72 cm) zijn prachtige maanopnamen.

„In tegenstelling met de la Rue en Rutherford liet Draper bij zijne maansopnamen den zwaren teleskoop in rust, doch de plaathouder met gevoelige plaat, bewogen door waterkracht, rolde voort in het brandvlak van den spiegel."

De eerste foto van een totale zonsverduistering was nog een daguerreotype en vertoonde duidelijk de protuberansen (28 Juli 1851). De fotografie van de planeten bleek aanvankelijk weinig belovend. Warren de la Rue kon in 5 sekonden een beeld van Jupiter krijgen en in 60 sekonden dat van Saturnus,

maar het gebrek aan detail moedigde niet aan de planetenfotografie met volharding te beoefenen.
Usherwood, een fotograaf, fotografeerde de eerste komeet (die van Donati in 1858) met een grote portretlens met korte brandpuntsafstand: belichtingstijd slechts 7 sekonden! De la Rue begreep niet waarom hij met behulp van zijn veel grotere spiegel geen beeld van dezelfde komeet kon krijgen. (Na lezing van hoofdstuk 2 zal u dat wel duidelijk zijn.)
Het fotograferen van sterren leverde in het begin ook alleen maar teleurstellingen op.

In 1850 was in het observatorium van Harvard college te Cambridge „de photografie van vaste sterren beproefd en inderdaad had Whipple een beeld gekregen van Vega (α Lyrae), eene ster van de 1e grootte .... Er waren eenige minuten noodig, om deze werking op de Daguerreotypeplaat te verkrijgen en bij eene poging om de poolster, eene ster van de 2e grootte, te photograferen, was er zelfs na vele minuten geen spoor van werking op de plaat te zien, zoodat men toen van verdere proeven afzag."

Nieuwe pogingen in 1857, maar nu met natte collodiumplaten, bewezen dat men met grote kijkers gemakkelijk sterren van de tweede grootte in enkele sekonden kon vastleggen, en dat zulke fotografische platen geschikt waren voor het uitmeten van de posities der sterren. Met het eerste fotografische objektief van Rutherford kwamen bij een belichtingstijd van 3 minuten reeds sterren van de 9e grootte op de plaat! Nu begon men ook met het fotografisch bepalen van sterparallaxen en met grote plannen voor een fotografische sterrenatlas.

„Met zijn photografischen refractor had Draper intusschen beproefd nevelvlekken te photograferen, in 't bijzonder den grooten nevel in Orion, in de hoop vormveranderingen bij dezen waar te nemen. Na blootstelling der plaat gedurenden 1 uur tot 2 uur verkreeg hij werkelijk in 1881 en 1882 goede afbeeldingen, op welke de nevelmassa bijna zoo uitgestrekt is als zij met de grootste kijkers was waargenomen."
In 1882 en '83 fotografeerde Common (met een 90 cm spiegelteleskoop) „verschillende nevels en herhaaldelijk den grooten Orion-nevel. De beste dezer opnamen, die van

30 Januari 1893, omvat de zwakste uitloopers, die op teekeningen voorkomen, en zelfs eenige sterren die rechtstreeks nog niet waren gezien; hare pose was slechts 37 minuten. De „Royal Astronomical Society" heeft deze opnamen hare gouden medalje waardig gekeurd."

„Eene photografie der Pleiaden van 3 uur pose (door de gebroeders Henry met een photografische refractor ϕ 33 cm, f = 343 cm, kort na 1885) heeft vermaardheid gekregen wegens de ontdekking, dat de ster Maia was omgeven door een nevel, die nog door geen enkelen waarnemer was opgemerkt."

„Een uitgestrekte nevel ten zuidoosten van Deneb (α Cygni) is tot 1891 onbekend gebleven.... Hij werd ontdekt door Max Wolf op eene photografie van slechts 3 uur pose; zijn kijker had als objectief een aplanaat van Krantz van 13,5 bij 79 cm, hetzelfde waarmede Wolf de eerste ontdekkingen van asteroïden heeft gedaan.... Latere photografieën van Wolf met poses van 11 uren en meer, over 2 of 3 nachten verdeeld, vertoonen een helderen nevel, die in zijne begrenzing sprekend gelijkt op het vasteland van Noord-Amerika. Hij wordt daarom thans algemeen Amerika-nevel genoemd."

De fotografie van sterrenspektra was wel het meest vruchtbare gebied voor nieuwe ontdekkingen. Draper fotografeerde het spektrum van Wega door vlak vóór het brandpunt een kwartsprisma te plaatsen. (augustus 1872). In dit spektrum waren vier donkere absorptielijnen zichtbaar.

„In de methode van Draper bracht Pickering deze wijziging (na 1886), dat hij het kleine prisma nabij het brandpunt van het objectief wegnam en vóór het objectief een groot prisma met brekenden hoek van 13° aanbracht, welks brekende kant evenwijdig werd gesteld aan de declinatie-as.... De photografische spectra van alle sterren tot die van de 9e grootte klasse, welke voorkomen op het Noordelijk deel des hemels, zijn reeds opgenomen en worden in de sterrenwacht te Cambridge geklassificeerd, welk werk bijna geheel door dames wordt verricht."

Tegenwoordig is de fotografie niet meer uit de sterrenkunde weg te denken. Voor het bepalen van sterposities is de foto-

grafische plaat vrijwel even nauwkeurig als visuele bepalingen aan het oculair van de kijker. Men kan echter veel meer gegevens tegelijk vergaren en het uitmeten kan rustig overdag in het laboratorium gebeuren. Het is natuurlijk mogelijk dat ook bij het uitmeten persoonlijke fouten insluipen, maar men heeft de plaat steeds weer tot zijn beschikking om deze opnieuw uit te meten. Men kan objekten fotograferen die met geen enkele kijker te zien zijn, omdat de lichtindrukken die op de gevoelige plaat vallen bij elkaar opgeteld worden.
Veranderingen in helderheid of vorm van hemellichamen en het verschijnen van nieuwe hemellichamen, kan op grote schaal en objektief vastgesteld worden uit opnamen van dezelfde hemelstreek op verschillende tijden gemaakt.
Alleen waar het gaat om het waarnemen van de fijnste details: nauwe dubbelsterren, details op maan- of planetenoppervlakte, kan de fotografische waarneming de visuele niet vervangen.

Waarom zou de *amateur*-astronoom eigenlijk sterrenfoto's maken? Als lezer van dit boek zult u zich daarover het hoofd niet breken; u vraagt alleen maar de nodige gegevens om het goed te kunnen doen. Toch wil ik daarover graag wat aan u kwijt. U behoeft zich geen illusies te maken over de wetenschappelijke waarde van uw astronomische foto's. Het is mogelijk dat u eens in uw leven het geluk heeft iets op de foto te krijgen dat aan de aandacht van de vakastronoom ontsnapt: een nova, een nieuwe komeet....; en met niet al te kostbaar instrumentarium kunt u zelfs meewerken aan wetenschappelijke programma's van het fotograferen van kunstmanen en meteoren (zie hoofdstuk 6 en 7). En toch, dit is niet zo'n belangrijk motief voor de vele amateur-astronomen die zich op sterrenfotografie toeleggen.
Een ruwe berekening leert, dat er op het ogenblik zeker meer dan honderd miljoen verschillende foto's van de Eiffeltoren genomen zijn, maar deze wetenschap belet u toch niet, als u volgend jaar in Parijs bent, die Eiffeltoren weer eens te fotograferen? De Andromeda-nevel is al vele malen (maar minder dan de Eiffeltoren!) gefotografeerd en toch ben ik ervan overtuigd, dat u met spanning het nog natte kleinbeeldnegatief met een loupe zult bekijken om te zien of uw eerste poging „om hem erop te krijgen" geslaagd is. Wie nu eenmaal ge-

boeid is door de astronomie wil liefst alle vroegere ontdekkingen zelf weer opnieuw beleven; hij maakt kennis met dezelfde moeilijkheden als waarmee de eerste sterrenfotografen geconfronteerd werden en kan de tegenwoordige prestaties beter naar waarde schatten. Bovendien is elke foto weer een uitdaging aan ons technisch kunnen: wie met een kijkertje met een opening van slechts 2 cm maankraters kan fotograferen; wie met een gewoon brandglas veel meer sterren van de Pleïaden weet te fotograferen dan met het ongewapende oog te zien zijn, heeft een prestatie geleverd en hij voelt dat ook als zodanig.

Er zijn *amateurastronomen* die graag astronomische foto's zouden maken, maar ze denken hiermee te moeten wachten tot ze een dure astro-kamera kunnen kopen of misschien wel een Schmidt-kamera.

Er zijn *amateurfotografen* die ook wel eens „iets uit het heelal" zouden willen schieten; zij beginnen er echter niet aan omdat ze menen, dat daarvoor een dure sterrenkijker nodig is. Toch kan men met een gewone kamera, uw eigen kamera, al boeiende sterrenfoto's maken. Ruim 40% van de in dit boek gereproduceerde foto's zijn genomen met een stilstaande kleinbeeld- of 6 × 6-kamera!

Als het vanavond onbewolkt is, en u heeft een film in uw kamera (zwart-wit of kleur), kunt u vandaag uw eerste sterrenfoto maken. Richt uw kamera, als het goed donker geworden is, op de hemelpool en laat de sluiter ongeveer twee uur open staan. Heeft u weinig tijd dan volstaan 10 minuten al. Als de film niet al te gevoelig is (bv. 17° Din) kan het diafragma *f*/2,8 gebruikt worden. Heeft u een heel gevoelige film (bv. 27° Din), diafragmeer dan tot *f*/4 of *f*/5,6. Zorg voor een interessant silhouet op de onderkant van de foto: een dak met TV-antennes, bomen, een schip etc. en u zult zo'n foto van sterrensporen rond de hemelpool niet voor de laatste maal gemaakt hebben. Door de aardrotatie hebben alle sterren een spoor van 1/12 cirkelomtrek getrokken, hetgeen samen met het voorgrondsilhouet een dekoratieve foto of kleurendia kan opleveren (vergelijk de titelplaat, foto 88, 89 en de kleurenfoto K1).

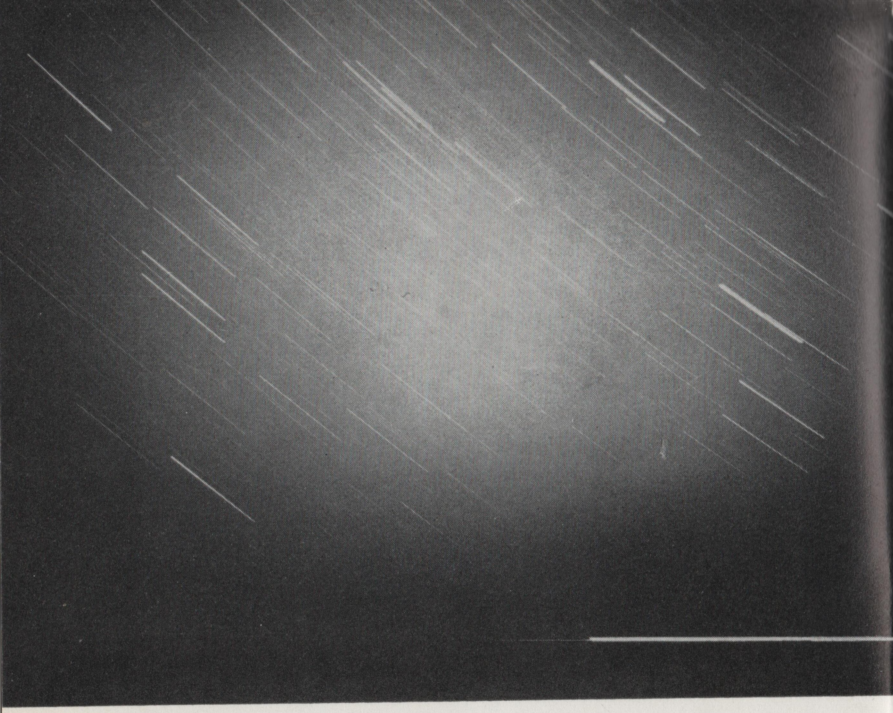
Bij gebruik van een objektief met een langer brandpunt dan 5 cm kunt u heel duidelijk zien dat de poolster niet in de

2. *Maan* en *Venus* boven Genève. (R. Phildius).

hemelpool staat; er zijn zelfs zwakkere sterretjes die daar dichter bij staan. U kunt op de plaat uitmeten hoeveel graden de poolster van de hemelpool verwijderd is.

Als uw kamera geen tijdopnamen toelaat, staat er toch altijd een B op; zolang u de sluiter ingedrukt houdt blijft de lens bij deze instelling openstaan. Met een draadontspanner die u vast kunt zetten, kunt u dan ook tijdopnamen maken. Het gaat zelfs zonder draadontspanner als u van ijzerdraad een klemmetje maakt dat om de kamera past en de sluiter ingedrukt houdt.

Wilt u nog meer onderwerpen die u zonder veel voorbereiding met uw eigen kamera kunt maken? Een slanke maansikkel



3. Zodiakaallicht aan Noordzeestrand. (J. Lantwaard, Utrecht. 15 min. op Isopan-Record, $f/2{,}5$, $f = 150$ mm.)

boven de horizon (K16, K17, 2). Een samenstand van maan en planeten (K9), het zodiakaallicht (3). Met een telelens: het asgrauwe schijnsel (K4) en de maan vlak naast een karakteristiek silhouet (K8).
Het is echter de bedoeling van dit boek u veel verder te brengen dan deze snel te behalen resultaten. De beperkingen die we in acht genomen hebben zijn de volgende: Er zijn geen foto's opgenomen van amateurs die werkten met een grotere objektiefopening dan 30 cm. Er zijn (behoudens een enkele uitzondering) alleen maar foto's opgenomen van amateurs. Het was niet de bedoeling een zo volledig mogelijk

---

K 1, 2, 3. Boven: *Kleine Beer*, Links: *Orion*, Rechts: *Voerman*. Deze 3 opnamen zijn genomen met een kleinbeeldcamera $f/2$, $f = 50$ mm op Anscochrome. (Volkssterrenwacht Simon Stevin.)

beeld te geven van alle fotografeerbare hemellichamen, maar om aan eenzelfde objekt te laten zien wat met verschillende instrumenten, verschillende werkwijzen en verschillend gevoelig materiaal te bereiken is. Zo vindt u bv. *zes* foto's van de Andromedanevel.
Verder hebben we ervoor gezorgd dat dit boek geen doublure zou worden van in andere landen verschenen boeken over sterrenfotografie voor de amateur. Vrijwel alle foto's zijn nog nooit eerder in een boek gepubliceerd.

Tot slot van dit heterogene hoofdstuk nog iets over het zelf afwerken van foto's. Zowel het ontwikkelen van uw films of platen als het maken van afdrukken en vergrotingen kunt u moeilijk aan de fotograaf overlaten. Hij is ingesteld op gemiddeld werk en kan zijn prijzen alleen maar handhaven bij geautomatiseerd werken. U kunt hem moeilijk vragen uw film in een speciale ontwikkelaar te doen of een langere ontwikkeltijd aan te houden dan hij voor zijn doorsneefilms gebruikt. Ook bij het vergroten van sterrenfoto's heeft hij geen enkel houvast, terwijl maan en planetenfoto's bij vergroten bijzondere zorg en ook een juist inzicht vragen van wat men eigenlijk op de foto naar voren wil laten komen. Bovendien zult u toch direkt na de opname het resultaat willen zien om dezelfde avond nog een nieuwe foto te maken waarbij u b.v. door verandering van belichtingstijd dezelfde opname kunt verbeteren.
Nu is het zelf afwerken van uw fotografisch materiaal noch duur, noch moeilijk. U komt het snelste op dreef als u inlichtingen vraagt bij een plaatselijke fotoclub. In vele gevallen zal men graag alle mogelijke inlichtingen over aanschaf van materiaal, over werkwijze etc. verschaffen ook al bent u geen lid. Binnen een jaar zijn de onkosten van het aanschaffen van alles wat u nodig heeft eruit en u heeft het eindresultaat beter in handen.
Bij de afbeeldingen hebben we zoveel mogelijk de noodzakelijke gegevens vermeld. Soms waren deze niet meer te achter-

---

K 4, 5, 6, 7. Links boven: Het asgrauwe schijnsel. Rechts boven en links onder: *Schorpioen.* Rechts onder: De melkweg in de *Schutter* (kleinbeeldopnamen Robert Phildius, Zwitserland).

halen, en in andere gevallen gaf de maker slechts bij enkele van zijn opnamen volledige gegevens. Het ligt voor de hand, dat dan voor de andere opnamen dezelfde gegevens gelden. We hebben ze echter niet opgegeven omdat de maker het ook niet gedaan heeft. Waar geen land vermeld staat achter de naam van de maker, is de opname van een Nederlandse amateur-astronoom.

Als bij de kameragegevens staat: kleinbeeldkamera, had het objectief een brandpuntsafstand van 50 mm.

Er is zoveel mogelijk vermeden enige astronomische uitleg te geven; we veronderstellen dat de lezer deze niet nodig heeft of anders gemakkelijk kan vinden in populaire Nederlandse literatuur hierover.

Hoofdstuk 2

Objectief en film

1. D/f en D

Waarom kreeg Usherwood in 1858 een goede opname van de komeet van Donati met behulp van een eenvoudige portretlens, terwijl Warren de la Rue daar met zijn veel grotere spiegelteleskoop en met langere belichtingstijd niet in slaagde? Na lezing van deze paragraaf zal dat duidelijk zijn.
De fotograaf heeft het over al of niet lichtsterke optiek. Die lichtsterkte hangt niet alleen af van de diameter van de lens, maar ook van de brandpuntsafstand.
Een lens met een grote diameter laat natuurlijk grotere lichtbundels aan de beeldvorming meewerken dan een objektief met een kleinere diameter. Maar als de brandpuntsafstand ook groot is, wordt dit licht a.h.w. over een grotere oppervlakte uitgesmeerd, omdat bij een grotere brandpuntsafstand een groter beeld ontstaat.

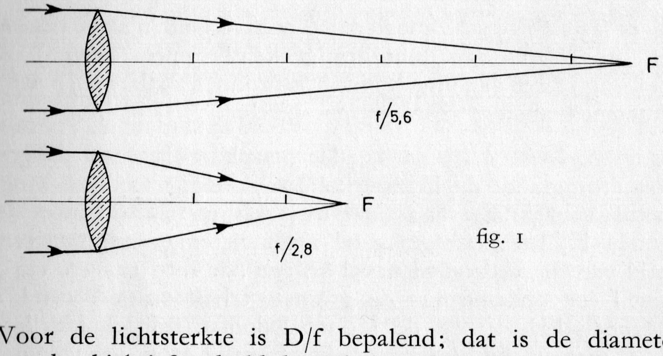


fig. 1

Voor de lichtsterkte is D/f bepalend; dat is de diameter van de objektief gedeeld door de brandpuntsafstand. De lichtsterkte is evenredig met het kwadraat van dit getal. In figuur 1 zijn twee lenzen getekend met dezelfde diameter. De tweede lens is lichtsterker, omdat de brandpuntsafstand daarvan kleiner is.

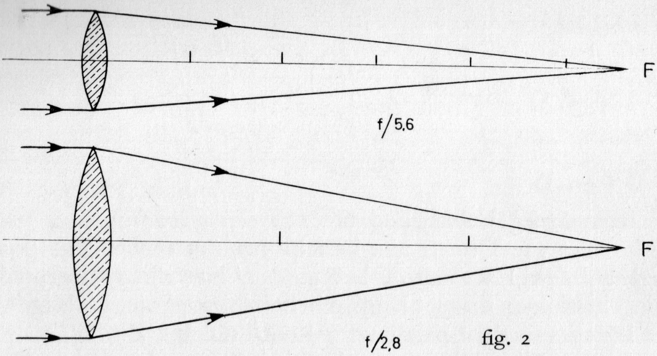


fig. 2

In figuur 2 zijn twee lenzen getekend die dezelfde brandpuntsafstand hebben, maar waarvan de tweede een grotere diameter heeft. De tweede is dan ook lichtsterker.
U ziet dat lichtsterke optiek bij lange brandpuntsafstanden grote lensdiameters vraagt, en dus ook duurder is!
De diafragmagetallen*) op uw fototoestel zijn zo gekozen, dat elk volgend groter getal een twee maal zo kleine lichtsterkte aangeeft:

f/D = 1 1,4 2, 2,8 4 5,6 8 11 16 22 32 etc.

Bij de astrofotografie moeten we onderscheid maken tussen het fotograferen van puntvormige lichtbronnen (sterren) en het fotograferen van uitgebreide lichtbronnen zoals: zon, maan, planeten, kometen, nevelachtige objecten.

Voor *uitgebreide lichtbronnen* geldt hetzelfde als voor de gewone fotografie: de lichtsterkte is evenredig met het kwadraat van D/f. Zo kan men met een gewone kleinbeeldkamera bij het diafragmagetal reeds in enige minuten een beeld van de Andromedanevel krijgen (zie foto 123 en 124), terwijl een opname met de grootste teleskoop ter wereld: de 200″-teleskoop op de Mount Palomar (spiegelmiddellijn ca. 5 meter!) bij dezelfde belichtingstijd nog geen spoor van de nevel laat zien. Deze spiegel heeft een lichtsterkte f/ 3,3 in het hoofdbrandpunt. We zouden dus bijna vier maal zo lang moeten belichten. Wordt echter het cassegrain-

*) Het diafragmagetal is het omgekeerde van de lichtsterkte, dus f/D.

brandpunt gebruikt (de lichtsterkte wordt dan f/16) dan vraagt de Andromedanevel een belichtingstijd die 64 maal zo lang is als onze kleinbeeldkamera met de lichtsterkte f/2.*) Hetzelfde geldt natuurlijk voor alle uitgebreide lichtbronnen, ook voor de maan.
De eerste kometenfoto werd genomen met een betrekkelijk lichtsterke portretlens; een opname met de veel grotere spiegelteleskoop mislukte omdat de lichtsterkte daarvan kleiner was.

Fotograferen we *puntvormige lichtbronnen*, dan is de zwarting van het negatief niet afhankelijk van het diafragmagetal, maar van de diameter van het objektief. Ze is evenredig met het kwadraat van de objektiefmiddellijn.**)
Zo zal een opname van het gebied rond de Andromedanevel met de 5-meter-spiegel met een belichtingstijd van 2 minuten veel en veel meer sterren tonen, dan een opname met een kleinbeeldkamera bij dezelfde belichtingstijd, ofschoon de nevel wel op de kleinbeeldopname te zien is en niet op de andere foto.

2. Afbeeldingsschaal

Opname 108 toont duidelijk de Orionnevel. De opname is genomen met een kleinbeeldkamera; brandpuntsafstand objektief: 5 cm. We zien de nevel, maar details zijn niet te onderscheiden. 109, 110 en 111 laten ook de Orionnevel zien. De brandpuntsafstanden van de gebruikte optiek zijn echter groter: 28 cm bij 110 en 90 cm bij 111. U ziet de detailrijkdom groter worden bij toenemende brandpuntsafstand. Voor een goed deel komt dit omdat bij een grotere afbeeldingsschaal de sterren verder van elkaar komen en de beeldjes elkaar niet overlappen.

*) Eigenlijk 256 maal, zie blz. 33 e.v.
**) Zoals we verderop zullen zien is het beeld van een ster slechts bij benadering puntvormig. De grootte van het *op de film geprojecteerde beeldje* is omgekeerd evenredig met de objektiefmiddelijn en evenredig met de brandpuntsafstand. Toch blijft dit beeldje zo klein dat we het als puntvormig kunnen beschouwen.
De grootte van *het beeldje op de ontwikkelde film* is behalve van de objektiefdiameter ook nog afhankelijk van de belichtingstijd, de luchtonrust, volgfouten en de wijze van ontwikkelen.

Bij opname 110 en 111 kunnen we nog iets eigenaardigs opmerken.: In 110 is ook de kleine Orionnevel duidelijk afgebeeld (boven de grote). In 111 is van de kleine Orionnevel slechts een vaag spoor te zien: de optiek waarmee 110 opgenomen is is dan ook veel lichtsterker dan die waarmee 111 gemaakt werd.

Eén graad aan de hemel wordt op de fotografische plaat afgebeeld als $\frac{f}{57{,}3}$ cm, waarin f de brandpuntsafstand van de gebruikte optiek (in cm) is. We zien de zon en de maan aan de hemel ongeveer onder dezelfde hoek, n.l. van $\frac{1}{2}°$. Op de fotografische plaat wordt dit dus $\frac{f}{114{,}6}$ cm. Als we dit wat afronden komen we op een gemakkelijk te onthouden waarde: een halve graad aan de hemel wordt afgebeeld als $\frac{f}{100}$ cm. Een kijker met een brandpuntsafstand van 100 cm geeft dus in het brandvlak een zon- of maanbeeldje van 1 cm middellijn. Bij een brandpuntsafstand van 200 cm wordt dit 2 cm etc.

De brandpuntsafstand van de opname-optiek is bepalend voor de afbeeldingsschaal op het *negatief*. Als we een positieve vergroting maken, hebben we de uiteindelijke afbeeldingsschaal natuurlijk geheel in handen. Bij opnamen van sterrenvelden verdient het dikwijls aanbeveling om uiteindelijk zoveel te vergroten dat de afbeeldingsschaal overeenkomt met die van een sterrenkaart, waarmee we het meeste werken. Dit vergemakkelijkt het identificeren van de sterren.

3. Oog en film; grens aan de belichtingstijd

Vergelijken we het netvlies van ons oog met een vrij gevoelige fotografische film (ca. 21° Din), dan moeten we constateren, dat het oog „in een blik" (d.w.z. in ca. $\frac{1}{8}$ sek.) evenveel ziet als deze film na ca. 15 minuten belichtingstijd. Pas bij langer belichten komen op de film zwakkere sterren dan die welke het oog (gewapend met dezelfde optiek!) kan zien. Foto 8 is daarmee schijnbaar in tegenspraak. Deze opname van het sterrenbeeld *Orion* is genomen met een belichtingstijd van slechts 10 sekonden! en toch zijn er meer sterren op te zien dan we met het ongewapende oog kunnen

waarnemen. Het is een vergroting van een kleinbeeldopname; de lensdiameter was 25 mm. Nu moeten we dit vergelijken met wat wij kunnen *zien* met een kijker met een objektiefdiameter van 25 mm, niet met wat wij met het blote oog kunnen zien. We komen daar dadelijk op terug.

Misschien denkt u dat we door het steeds maar verlengen van de belichtingstijd steeds zwakkere sterren zouden kunnen fotograferen. Dit is niet waar; er is een *maximale belichtingstijd*. Als we die overschrijden begint zich op de film een lichte sluiering te vertonen, waarin de zwakste sterren die we reeds gefotografeerd hebben verdwijnen.
Dit komt omdat zelfs de donkerste nachthemel niet volkomen donker is; in een maanloze nacht is meer dan de helft van het licht dat we van de nachthemel ontvangen *niet* afkomstig van de duidelijke lichtbronnen: planeten, sterren en melkweg! Ze werkt op de film in als een uitgebreide (zwak, zeer zwak) lichtende nevel. Na een bepaalde tijd is de indruk van deze „nevel" op de film even sterk als die van de zwakste sterren op onze film en dan heeft langer belichten geen zin meer.
Het is duidelijk dat de maximale belichtingstijd afhankelijk is van de lichtsterkte van de gebruikte optiek; we fotograferen immers een uitgebreid lichtend objekt: de nachthemel. Hoe lichtsterker de optiek, des te korter is de maximale belichtingstijd.
In de volgende tabel vindt u de maximale belichtingstijden voor enige diafragmagetallen en verschillende filmgevoeligheden:

f/D	filmgevoeligheid				
	17° Din	21° Din	24° Din	27° Din	30° Din
1	20 min.	8 min.	200 sek.	80 sek.	30 sek.
1,4	50 min.	20 min.	8 min.	200 sek.	80 sek.
2	2 uur	50 min.	20 min.	8 min.	200 sek.
2,8	5 uur	2 uur	50 min.	20 min.	8 min.
4	12 uur	5 uur	2 uur	50 min.	20 min.
5,6		12 uur	5 uur	2 uur	50 min.

Deze waarden gelden zo ongeveer voor een „diep donkere nacht". Als u echter bij f/2,8 een 27° Din film 20 min. belicht, zelfs in een maanloze nacht, dan is uw film waarschijnlijk al lang gesluierd. In ons land zijn echt donkere nachten heel zelden: even zelden als een strak blauwe hemel overdag.
We kunnen rustig stellen dat de tijden in de tabel gehalveerd moeten worden, willen ze gelden voor een gemiddelde onbewolkte nacht in ons land.
Verder vermindert het minste valse licht (maan, kunstlicht) de maximaal bruikbare belichtingstijd aanmerkelijk. Zelfs op de Mount Wilson, waar men met de grote teleskoop (spiegelmiddellijn ca. 2,50 m, lichtsterkte f/5) op een bepaalde film wel bijna 2 uur kon belichten, haalt men tegenwoordig nauwelijks de 30 minuten zonder dat reeds sluiering optreedt ten gevolge van het strooilicht van de verafgelegen steden.
Willen we lang belichten om nog zeer zwakke sterren op de film te krijgen, dan moeten we niet al te lichtsterke optiek gebruiken, maar wel zorgen voor een grote objektiefmiddellijn.

4. Magnitudenwinst

De zwakste stermagnitude die we op de film kunnen verwachten is voor het grootste deel afhankelijk van de objektiefdiameter D (zie paragraaf 1), van de belichtingstijd en van de filmgevoeligheid. De volgende tabel geldt voor een filmgevoeligheid van 27° Din.

Belichtingstijd in minuten	objektiefdiameter (in mm)						
	20	50	60	80	100	160	200
5 min.	9	11	11,4	12	12,5	13,5	14
10 min.	9,7	11,7	12,1	12,7	13,2	14,2	14,7
15 min.	10	12	12,4	13	13,5	14,5	15
30 min.	10,7	12,7	13,1	13,7	14,2	15,2	15,7
1 uur	11,3	13,3	13,7	14,3	14,8	15,8	16,3
2 uur	12	14	14,4	15	15,5	16,5	17

De tabel geeft alleen enig houvast als de belichtingstijd onder de maximale belichtingstijd ligt. Bij de regel van 15 minuten vindt u ongeveer de visuele grensmagnituden voor de verschillende objektiefdiameters.
Verder geldt de tabel alleen voor sterren nabij het zenit. Omdat het licht bij het doorlopen van een groter deel van de atmosfeer meer geabsorbeerd wordt, worden de grensmagnituden voor lagere hoogten kleiner: Op 40° hoogte moet reeds 0,1 m afgetrokken worden van de waarden uit de tabel, op 25° 0,3 m, op 20° 0,4 m, op 15° 0,5 m en op 10° 0,9 m. Vanzelfsprekend geldt alles voor diep donkere nachten.

In de tabel kunnen we aflezen dat de grensmagnitude voor een 16-cm objektief bij een belichtingstijd van 30 minuten m 15,2 is en bij 2 uur belichtingstijd m 16,5. We belichten dus viermaal zo lang en hebben een magnitudenwinst van slechts 1,3 magnitude! Het lijkt wel of we met langer belichten maar weinig bereiken. Het aantal sterren op de plaat neemt echter snel toe.
Heel globaal kunnen we zeggen, dat het aantal sterren van een bepaalde magnitude driemaal zo groot is als die van sterren die een magnitude helderder zijn.

De waarden in de tabellen in paragraaf 3 en 4 moet u niet beschouwen als absoluut vaststaande gegevens. U zult in verschillende publikaties afwijkende waarden vinden.

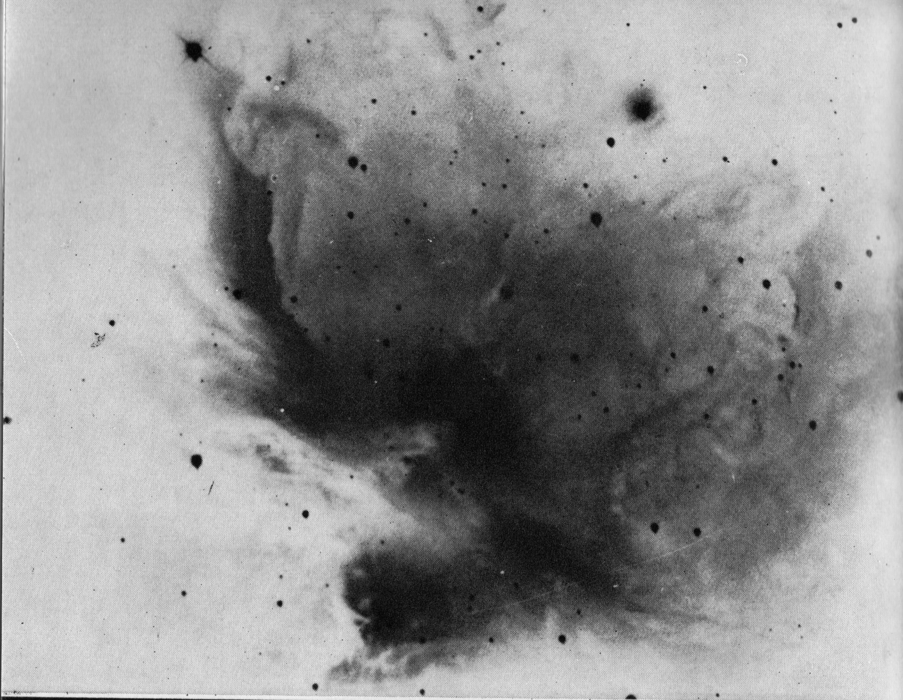
5. Filmgevoeligheid

Het lichtgevoelige materiaal is al verschillende malen ter sprake gekomen. Misschien heeft u de indruk gekregen, dat we zouden kunnen volstaan met het gevoeligste materiaal op te geven dat op het ogenblik in de fotohandel te krijgen is. Zo eenvoudig is het niet.
De filmgevoeligheid wordt in West Europa vrij algemeen opgegeven in graden Din.
De gemiddelde amateurfilm, zowel zwart-wit als kleur, heeft een gevoeligheid van 18° Din. Elke 3° Din meer betekenen een verdubbeling van de gevoeligheid. We kunnen het ook zo uitdrukken: een film van 21° Din behoeven we onder dezelfde omstandigheden maar half zo lang te belichten om

dezelfde zwarting op het negatief te krijgen als een film van 18° Din. Bij het fotograferen van sterren kunnen we opmerken dat met gebruik van een film met een gevoeligheid die 4° Din groter is, sterren gefotografeerd kunnen worden die 1 magnitude zwakker zijn.
We zullen hier geen speciale astronomische emulsies bespreken. Die zijn duur en zelfs bij de importeur gewoonlijk niet uit voorraad leverbaar. Bovendien vragen ze in vele gevallen een speciale wijze van bewaren. De normaal in de fotohandel verkrijgbare amateurfilms zijn echter ook geschikt voor astronomische fotografie.
Een film van 36° Din is op het ogenblik wel de gevoeligste die voor amateurgebruik gemaakt wordt: ze is meer dan 60 maal zo gevoelig als een 18° Din film.*) Met een polaroïdfilm komen we zelfs tot ca. 42° Din. Waarom deze niet altijd gebruikt voor onze sterrenfoto's? Met een minuut belichten bereiken we met zo'n film evenveel als met een uur belichten op een 18° Din film. Dat dit niet opgaat zal u in de volgende paragraaf duidelijk worden. Maar er zijn bepaald nadelen aan het gebruik van een gevoelige film verbonden: de beelden zijn minder kontrastrijk, ze zijn korreliger, en ze sluieren sneller.
Stel nu dat we zo'n film gebruiken voor een maanfoto. We behoeven maar kort te belichten. De luchtonrust zal in die korte tijd ons beeld niet zo nadelig beïnvloeden als bij een langere belichtingstijd en waarschijnlijk hoeven we de maan niet te volgen; we kunnen gewoon door de stilstaande kijker fotograferen. Van de andere kant krijgen we een korreliger negatief, dat bovendien minder kontrastrijk is.
En dit zal de detailrijkdom van het beeld ongunstig beïnvloeden. Uit dit ene voorbeeld blijkt al dat we steeds een minnelijke schikking moeten treffen om tot een optimaal resultaat te komen. Het zal van ons instrument, van onze doelstelling, van de atmosferische toestand enz. afhangen hoe onze keus zal uitvallen.

*) De maximale gevoeligheid van het oog (zie ook § 3) zouden we kunnen vergelijken met een film van ca 57° Din.

4, 5. M 67, 50 min. op Super PanchroPress. *f*/6, *f* = 1500 mm. Boven: normaal, onder: film 72 uur op 50° C gehouden. (E. A. Harlan, U.S.A.)



De filmgevoeligheid is ook afhankelijk van de wijze waarop de film ontwikkeld wordt. Dit klinkt misschien vreemd voor iemand die dit voor het eerst hoort. Als we doodontwikkelen, d.w.z. net zo lang ontwikkelen tot de onbelichte partijen ook gaan sluieren, lijkt het alsof we met een veel gevoeliger film gewerkt hebben. De foto's 7, en 8 zijn hiervan uitstekende voorbeelden. De gebruikte film was Tri-x van Kodak. De opnamen zijn gemaakt met een kleinbeeldkamera (bij f/2, terwijl f = 5 cm) met een belichtingstijd van slechts 10 sekonden. 7 werd 16 minuten ontwikkeld in Atomal Neu. Dit is al twee maal zo lang als normaal. 8 is echter 8 *uur* ontwikkeld in verdunde Atomal-neu (1 op 2). De negatieven waren zwaar gesluierd en bruin. Toch zijn er op foto 10 verrassend veel sterren van *Orion* te zien. Waarschijnlijk zou het resultaat nog beter geweest zijn als we de ontwikkeling hadden gestopt zodra een merkbare sluiering zichtbaar werd.
Hoe verschillend filmsoorten reageren op doodontwikkelen is niet bekend. De fabrikanten kunnen geen uitsluitsel geven; voor de normale amateurfotografie is het immers van geen belang. Hier moet de amateur zelf experimenteren. J. Brouwer de Koning uit Hoensbroek deelde ons de resultaten mee van zijn proeven met Agfa Isopan rekord, een der snelste Agfa-films (ca. 36° Din) en Ilford HP4 (29 Din). Hij ontwikkelde beide films in Rodinal (1 : 50). Isopan Rekord was al na 2 uur ontwikkelen zwaar gesluierd, Ilford HP4 gaf echter goede resultaten: na 5 uur ontwikkelen vertoonde de film nog geen sluier en was de ontwikkelaar nog niet sterk verkleurd.
De beste resultaten kregen we tot nu toe met Tri-x, 15 minuten ontwikkeld in promicrol.
Ook het geven van een zwakke voorbelichting aan het negatief verhoogt de gevoeligheid ervan. U kunt dit als volgt doen. Span de film in de donkere kamer uit, met de gevoelige kant naar voren. Laat nu enige sekonden het licht van een zaklantaarn achter een stuk wit tekenpapier schijnen. Zorg

---

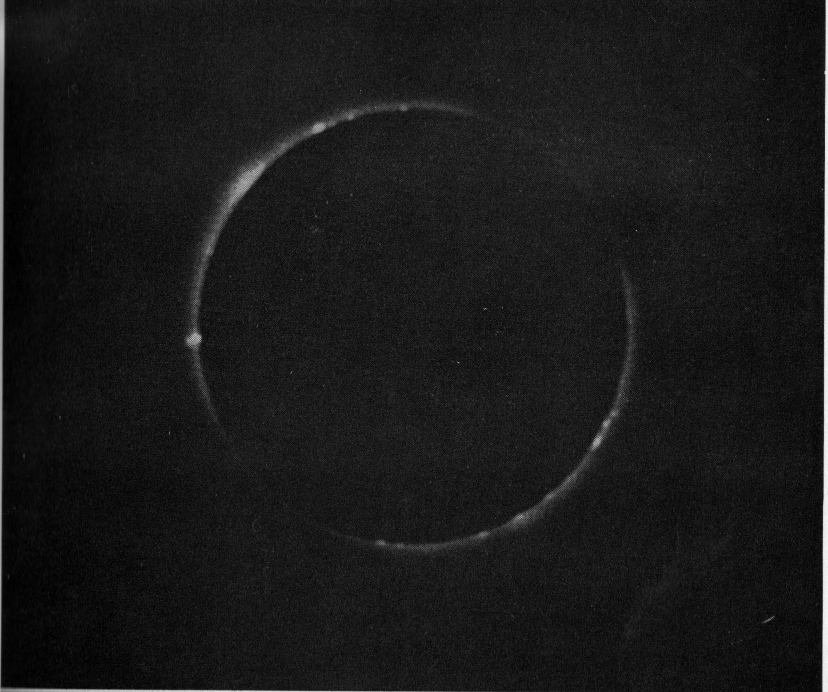
6, 7, 8. Boven: *Grote Orionnevel.* Op diepgekoelde emulsie. (A. Hoag. Flagstaff Observatorium, U.S.A.)
Onder: *Orion,* 10 sec. op Tri-X, *f*/2, *f* = 5 cm. Links 16 minuten ontwikkeld in Atomal-neu. Rechts 8 *uur* ontwikkeld in verdunde Atomal-neu. (Volkssterrenwacht.)

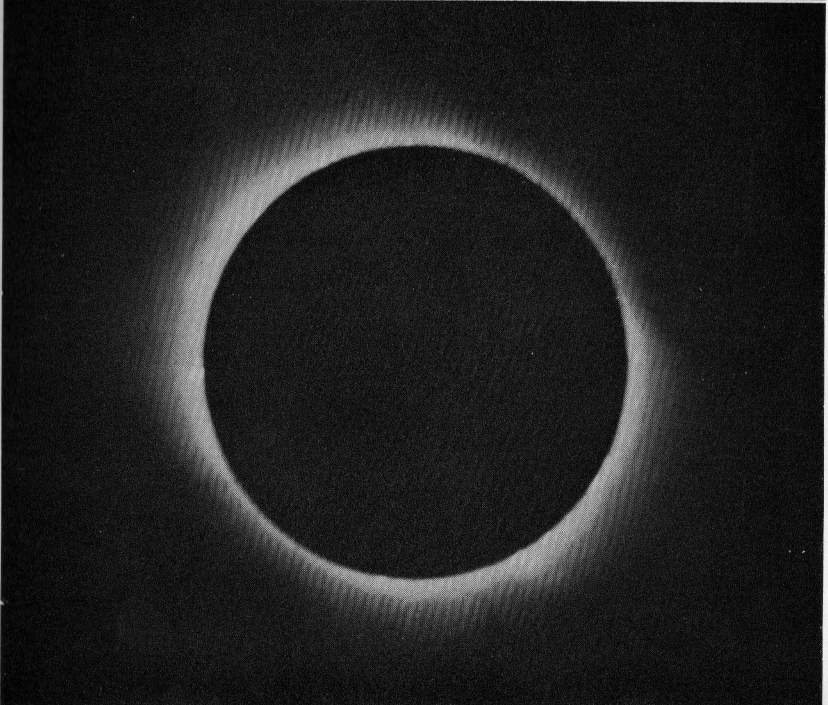
daarbij dat de film overal even ver weg is van deze diffuse lichtbron (ca. 2 meter). Deze voorbelichting kan ook automatisch optreden wanneer wij meer dan enige minuten belichten en de hemel is niet helemaal donker (wat in ons land dus op de meeste plaatsen gewoonlijk het geval is). In de praktijk werden wij met dit verschijnsel als volgt gekonfronteerd. De foto's K 1, K 2, en K 3 werden in ons land gemaakt.
Deze opnamen, waarop bij een belichtingstijd van ca. 2 minuten al goed gekleurde korte sterrensporen zichtbaar waren, dienden als uitgangspunt voor opnamen die wij in Midden Frankrijk bij een indrukwekkend, fluweelzwarte nachthemel maakten. De sterrenrijkdom was zo groot, dat wij sommige sterrenbeelden nauwelijks konden terugvinden. Maar op de opnamen, met dezelfde optiek (kleinbeeld, f = 5 cm bij f/2, belichtingstijd 2 minuten) waren alleen de helderste sterren zichtbaar. We hebben er uren aan besteed om twee maal het hele zichtbare hemelgewelf te fotograferen.... zonder resultaat. De enigste plausibele verklaring is: de „hollandse nachthemel" had de film een juiste dosis voorbelichting tijdens het belichten gegeven. Wie ertoe in de gelegenheid is kunnen wij aanraden op dit gebied verder te experimenteren.

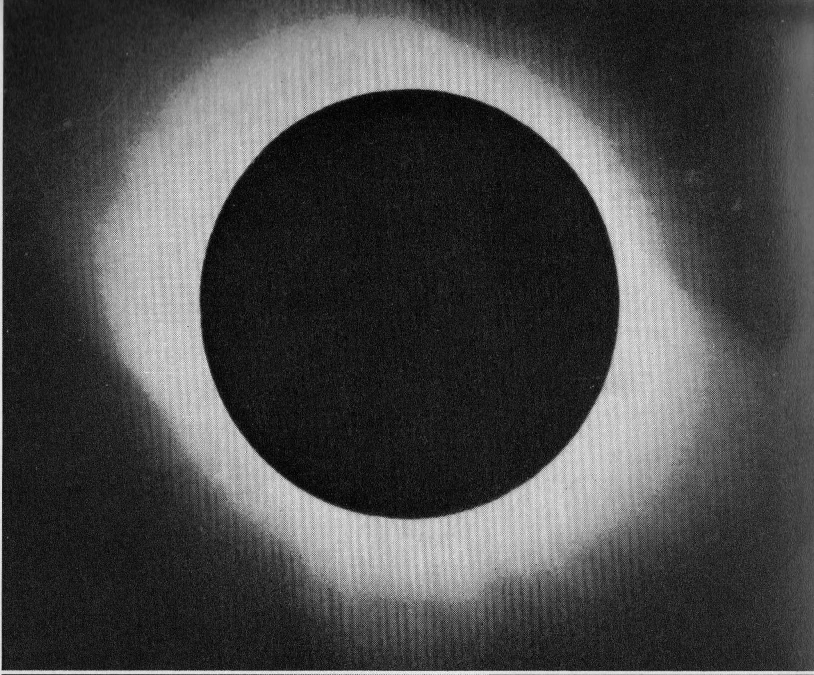
De filmgevoeligheid kan ook opgevoerd worden door de film vóór het belichten een bepaalde tijd op een hogere temperatuur te houden. Dit „bakken" van de film is door de Amerikaanse amateur Harlan onderzocht en met groot succes toegepast. Foto 4 en 5 zijn in het primaire brandpunt van een 15-cm kijker (f/6) genomen van de sterrenhoop M 67.
Beide met een belichtingstijd van 50 minuten. Ze zijn beide opgenomen op Super Panchro Press, maar de film voor foto 5 was tevoren 72 uur lang op een temperatuur gehouden van 50° C. Het effekt is duidelijk!
Dit bakken kunt u zelf eenvoudig doen, door het filmrolletje goed in enige lagen papier te pakken, dit in een houten kistje doen en het op de centrale verwarming te zetten. Als u een

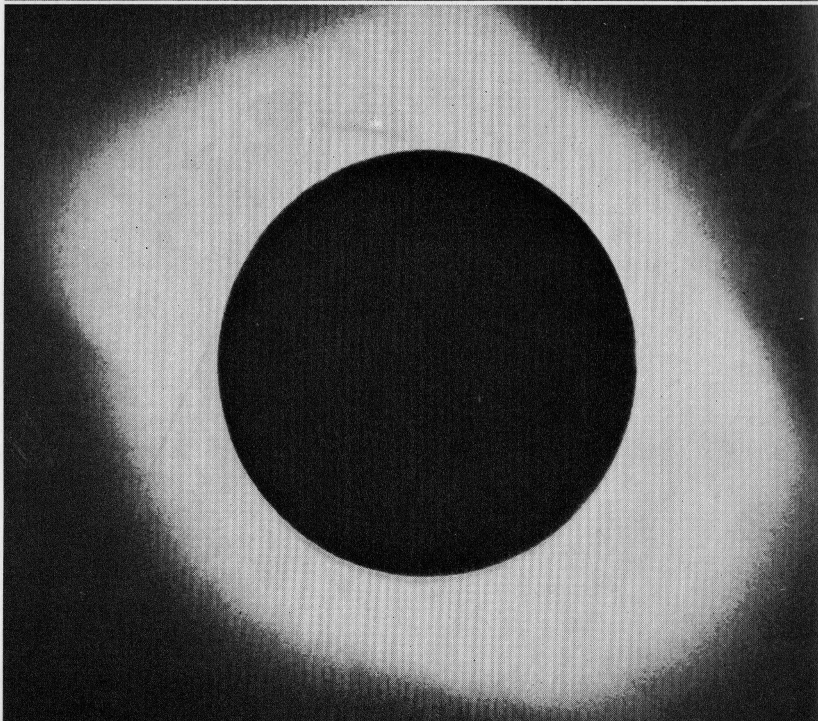
---

9, 10, 11, 12. Totale *Zonsverduistering* (20-7-'63). Deze 4 vergrotingen zijn gemaakt van hetzelfde negatief. Dit is mogelijk bij gebruik van een speciale film met 3 emulsielagen, waarvan elke een andere gevoeligheid heeft.









thermometer met het kwikbolletje vlak bij de film meeverpakt en de schaal buiten het kistje laat steken, kunt u kontroleren op welke temperatuur u aan het „bakken" bent.

Hoe vreemd het ook moge klinken, men kan de gevoeligheid van de film ook behoorlijk opvoeren door de film tijdens de opname op een zeer lage temperatuur te houden. Foto 6 is een negatieve afdruk van een kleurenfoto van de Orionnevel. Ze is genomen door Dr. A. Hoag. (Flagstaff, Arizona, U.S.A.). De belichtingstijd was slechts 1 uur. Als we dit vergelijken met de andere professionele opnamen van dezelfde nevel, zien we dat de belichtingstijd bij eenzelfde doortekening aanmerkelijk korter is en tevens dat we zo weinig van overstraling der heldere partijen (hier dus de donkere partijen) merken: in de helderste (hier donkerste) delen van de nevel zijn zelfs nog sterren zichtbaar.
Terwijl het „bakken" van de film een zeer eenvoudige aangelegenheid is, vraagt het werken met diepgekoelde emulsies een speciale techniek. Dit gebied is nog maar kort voor de amateur ontsloten. In hoofdstuk 9 vindt u hierover de nodige details.
Voor bijzondere doeleinden heeft Edgerton, Germeshausen and Grier, Inc. een film (XR) gemaakt met drie emulsielagen, die elk een andere gevoeligheid hebben. Hiermee is het mogelijk enorme kontrasten vast te leggen. In één opname kan men op deze manier tijdens een zonsverduistering zowel de corona als de protuberansen fotograferen. Afbeeldingen 9 t/m 12 zijn vergrotingen van eenzelfde opname! Deze film is in kleinbeeldpatronen verkrijgbaar en wordt ontwikkeld volgens het kodacolor C-22 standaard procédé.

6. Het Schwarzschild-effekt

Iedere fotograaf weet dat het niets uitmaakt of we 1/100 sekonde belichten bij f/5,6, dan wel 1/50 sekonde bij f/8. In beide gevallen valt dezelfde hoeveelheid licht op de fotografische plaat en dus is in beide gevallen de zwarting hetzelfde.
Dit gaat inderdaad op voor belichtingstijden tussen de 1/1000 sekonde en 1/10 sekonde. Bij zeer korte en zeer lange belichtingstijden (alleen de laatste interesseren ons hier)

blijkt dat we langer moeten belichten om dezelfde zwarting te verkrijgen dan uit de bovenstaande wetmatigheid volgt. Fotograferen we bijvoorbeeld een ster van de magnitude 1 bij een belichtingstijd van 1 sekonde, dan zouden wij verwachten dat we een 100 maal zo zwakke ster ($m = 6$) 100 sekonden moeten belichten om dezelfde zwarting te krijgen. In werkelijkheid zullen wij daarvoor echter ca. 400 sekonden moeten belichten. Om u een idee te geven van de uitwerking van het S-effekt geven we het volgende tabelletje. Het is door W. Terlouw proefondervindelijk bepaald bij een aantal films met gevoeligheden van 13° Din tot 27° Din. De tabel geeft het gemiddelde van de uitkomsten, die van film tot film weinig uiteen bleken *) te lopen.

berekende belichtingstijd	werkelijke belichtingstijd
2 sek.	2 sek.
4	5
8	12,5
16	32
32	80
64	200
128	512
256	1280
512	3200
1024	8200

Als u dus veelbelovende resultaten krijgt bij een korte belichtingstijd (zoals bij afbeelding 8 bijvoorbeeld) dan moet u geen wonderen verwachten bij een 10 maal zo lange belichtingstijd. In de tabel van paragraaf 4 is het Schwarzschildeffekt reeds ingekalkuleerd.

Als we kleurendia's maken speelt het Schwarzschildeffekt ons nog op andere wijze parten. Het is namelijk niet voor alle drie de kleurkomponenten gelijk. Voor het groen, en vooral voor het rood is de werkelijke belichtingstijd (bij lange belichtingstijden) veel langer dan voor het blauw. Alleen bij belichtingstijden rond de 1/50 sekonde zijn de kleuren perfekt in balans.

*) Met de volgende formule kunnen we de werkelijke belichtingstijd T bepalen uit de berekende belichtingstijd t. $T = t\sqrt[3]{\tfrac{1}{2}t}$

7. Kleurenfoto's van hemellichamen

Op kleurenfoto's (zie bv. afb. K 12, K 13 en K 15) ziet u duidelijk hoe verschillend van kleur de sterren zijn. Hoe komt het nu dat deze kleurverschillen aan de hemel veel minder opvallen? Zet dit boek rechtop tegen de muur met de afbeelding K 12 voor u, en bekijkt deze afbeelding op 3 m afstand. U ziet dat de kleuren nu verdwenen zijn. Voor het herkennen van een kleur moeten de streepjes minstens 0,3 mm dik zijn bij een beschouwingsafstand van ca. 25 cm. Bij visueel waarnemen blijven de beeldjes van de sterren altijd kleiner dan cirkeltjes met een middellijn van 0,3 mm gezien van een afstand van 25 cm. Door verschillende in de volgende paragraaf behandelde oorzaken wordt het beeldje op de fotografische plaat groter en de kleurverschillen komen duidelijk tevoorschijn. Neemt u eens een kleurendia en stelt u onscherp in (bv. op 2 meter i.p.v. oneindig) dan komen op de plaats van de sterren mooi gekleurde cirkels te voorschijn.
Zijn dit nu de „echte" kleuren van de sterren'? De kwaliteit kleur zegt de fysicus en de astronoom weinig. Hij vraagt naar de uitgestraalde golflengten en naar de intensiteit van de straling van elke golflengte. Wij zeggen dat een geranium rood is en beweren dat iemand blauwe ogen heeft en we vragen nu in dit zelfde vlak naar de „echte" kleuren van de hemellichamen. We komen dan al gauw in moeilijkheden. De grote Orionnevel bijvoorbeeld zien we door de teleskoop als een helder groen fluorescerende nevel. De intensiteit van het rode licht dat de nevel uitstraalt is zeker even groot als van het groene, alleen is ons oog voor deze straling minder gevoelig. De film registreert echter ook het rode licht en het blauwe en op een kleurenfoto is de Orionnevel beslist niet groen. De vraag: welke kleur heeft zij dan, heeft in dit geval weinig zin. De Andromedanevel is, gezien door de teleskoop, melkachtig wit. Toch weten we dat in de spiraalarmen overwegend blauwe sterren voorkomen en in de kern gele. Deze kleuren zijn op een kleurenfoto wel te zien.

8. De „scherpte" van astronomische foto's

Waarom zijn zoveel maanfoto's minder detailrijk dan het visuele beeld met dezelfde kijker? We zullen hier twee be-

langrijke oorzaken behandelen: de beperkingen van de fotografische emulsie en de luchtonrust (turbulentie).
Het beeld van een ster in het filmvlak is een buigingsschijfje omringd door buigingsringen (zie Thieme's sterrenboek pag. 55). Hoe groter de objektiefdiameter, hoe kleiner het schijfje. Nu wordt dit schijfje op de film altijd groter afgebeeld dan het in werkelijkheid is. De fotografische emulsie bestaat uit zoutkristalletjes (vooral zilverbromidekristallen) die een grootte hebben van 0,2 tot 4 duizendste mm (μ). Valt er licht op zo'n kristalletje dan zal de bouw ervan zodanig gestoord worden, dat het in de ontwikkelaar ontleedt. Het zilver (zwart) komt vrij en blijft op de plaats waar eerst het zilverbromidekristalletje was.
Valt er op het kristalletje méér dan de minimale hoeveelheid licht die nodig is om dit kristalletje „ontwikkelbaar" te maken, dan zullen daardoor ook de naburige kristalletjes gestoord worden. Daardoor wordt het beeldje al groter. Verder is er nog licht dat door de kristalletjes weerkaatst wordt en daardoor naburige kristalletjes treft*). Afhankelijk van de hoeveelheid licht die op één kristal valt zal na ontwikkeling daaruit een zwarte vlek met een diameter van 20 tot 100 μ ontstaan (bij heldere sterren en een lange belichtingstijd is dat veel en veel groter, het gaat hier over de lichthoeveelheid die een kristalletje treft bij b.v. een goed belichte maanfoto).
Nemen we nu eens een gemiddelde van 60 μ, dan kunnen we uitrekenen dat het fotografisch oplossend vermogen ongeveer $\frac{6000''}{f}$ is (f is de brandpuntsafstand van het gebruikte optische stelsel in millimeters).**)
Het maximaal visuele oplossend vermogen van de optiek is

*) Er treedt ook nog een weerkaatsing van het licht op tegen de achterzijde van de emulsiedrager. Het moderne filmmateriaal heeft echter een zgn. anti-halo-laag, waarin dit licht geabsorbeerd wordt.

**) Als het minimale beeldpuntje 60 μ is zullen twee aan elkaar grenzende puntjes nog als verschillende punten te zien zijn als de afstand van hun middelpunten 30 μ is. We rekenen uit met welke hoek aan de hemel een afstand van 30 μ op de plaat overeenkomt. Dit is $\frac{30 . 360 . 60 . 60''}{2 \pi f . 1000}$ en dit is ongeveer $\frac{6000''}{f}$

$\frac{120''}{D}$ waarin D de middellijn van het objektief in millimeters (zie Thieme's sterrenboek pag. 56).

Wanneer zullen nu onze astronomische opnamen hetzelfde scheidend vermogen tonen als de visuele waarnemingen? Als $\frac{6000}{f} = \frac{120}{D}$ ofwel $D/f = 1/50$. M.a.w. slechts kijkers met een heel kleine openingsverhouding *kunnen* foto's leveren met een scheidend vermogen gelijk aan het visuele. Anders uitgedrukt: alleen bij een openingsverhouding van f/50 of kleiner kan de foto even „scherp" zijn als het visuele beeld.*) Een gemiddelde refraktor (f/15) of een Newton-teleskoop (van f/5 à f/10) halen dat nooit, bij een Kutterteleskoop is de zaak wat gunstiger (f/20 à f/25) en ook de Cassegrainsystemen met meestal vrij grote effektieve brandpuntsafstanden zijn wat dit betreft in het voordeel. Er zijn echter kunstgrepen waarmee elke kijker op f/50 gebracht kan worden (zie hoofdstuk 4). Ideaal zou hier natuurlijk zijn een teleskoop met een zeer grote objektiefdiameter en een zeer lange brandpuntsafstand. Een kleine openingsverhouding vraagt echter langere belichtingstijden waarbij de winst weer teniet wordt gedaan door eventuele volgfouten en de turbulentie, waarover dadelijk.

Turbulentie kan voorkomen in open kijkerbuizen, ze kan vlak bij de kijker veroorzaakt worden (door warmere grond of gebouwen waardoor een opstijgende luchtstroom ontstaat), en ten slotte door onregelmatigheden in hogere lagen van de atmosfeer. Deze laatste zijn niet te vermijden. Men kan alleen een plaats kiezen waar deze turbulentie op een zo groot mogelijk aantal dagen zo gering mogelijk is en men kan bij opnamen met een korte belichtingstijd tot enige sekonden, zoals

*) Dit is ook de openingsverhouding waarmee de bekende amateurs Osypowski en Pope, (foto 28, 32, 35 en 36) en Nemec, hun prachtige maan- en planetenfoto's maakten.
Toch is de veronderstelling die we hierboven maakten dat het minimum beeldpuntje gemiddeld 60 μ zou zijn voor de meeste moderne emulsies aan de zeer hoge kant. Nemen we daarvoor 20 μ dan krijgen we een openingsverhouding van ca. f/17 ipv. f/50 waarbij een foto reeds even scherp kàn zijn als het visuele beeld.

soms voor maan- en planetenopnamen), wachten tot de turbulentie zo klein mogelijk is.
Een van de effekten van de turbulentie is, dat een beeldje van een ster zich op onregelmatige wijze verplaatst. Is dit van 0",5 tot 1" dan spreekt men van een goede seeïng. Is deze verplaatsing 10" tot 20" dan is de seeïng slecht tot zeer slecht en heeft het geen zin foto's te maken.
Het is ook duidelijk dat het voor het fotograferen van fijne details geen zin heeft een kijker te gebruiken waarvan het objektief een groter scheidend vermogen heeft dan 0,5". Bij visueel waarnemen geldt dit niet omdat het oog de hele korte ogenblikken waarop het beeld geheel stil staat kan benutten of langzame bewegingen kan volgen, maar bij fotografische opnamen kwispelt het beeldpuntje over de fotografische plaat zolang de belichting duurt. Hoe langer de brandpuntsafstand van de optiek is, des te groter zal de door de turbulentie veroorzaakte verplaatsing van het beeld op de film zijn. Bij brandpuntsafstanden groter dan 50 cm is de verplaatsing door turbulentie bij goede seeïng al groter dan de middellijn van het beeldje dat een ster zonder het turbulentieëffekt zou veroorzaken.
U ziet dus dat de turbulentie veel sneller roet in het eten strooit dan de eigenaardigheden van de fotografische emulsie die we in het begin van deze paragraaf behandelden. Zo hebben de beste maanfoto's gemaakt met de Hookerteleskoop op de Mount Wilson (spiegelmiddellijn ca. 250 cm!) slechts een scheidend vermogen van 0",82, iets wat visueel met een 15-cm teleskoop te bereiken is.

Eigenlijk is het misleidend over het scheidend vermogen te spreken, als het gaat over zon-, maan- of planetenfoto's. Bij alle bespiegelingen over scheidend vermogen gaan we uit van het afbeelden van grote kontrasten, bijvoorbeeld van dubbelsterren die nog gescheiden moeten worden of van de zwarte streepjes op een wit testkaartje. Maar of een foto van b.v. Jupiter ons nog informatie verschaft over details hangt ervan af of wij nog kontrast zien tussen twee dicht bij elkaar gelegen delen van het beeld. In het algemeen wordt het kontrast door de gebruikte optiek en door het fotografisch materiaal verkleind. Het oog kan (als het niet over heel kleine

oppervlakten gaat) nog kontrastverschillen waarnemen als de helderheid van het ene vlakje 5% groter of kleiner is dan die van het andere. Als dit minimale kontrast oorspronkelijk aanwezig is en de kontrastoverdracht gaat met kontrastverlies gepaard, dan zien wij geen verschil meer tussen beide vlakjes ook al zouden we ze, wat betreft het scheidend vermogen van de kombinatie optiek-film, gemakkelijk als afzonderlijke vlakjes kunnen waarnemen.

De hele kwestie van kontrastoverdracht is vrij ingewikkeld en we gaan er niet verder op in. Eén belangrijke konklusie kunnen we eraan vastknopen: het is soms niet voordelig erg gevoelig filmmateriaal te gebruiken, want dit werkt meestal zacht zodat de kontrasten daardoor verkleind worden.

Het fotograferen van sterrensporen is interessant, leerzaam en zeer eenvoudig. U heeft er alleen maar een kamera voor nodig, en liefst een fotostatief.

De hele techniek van het opnemen heeft u al onder de knie als uw eerste opname, die we in hoofdstuk 1 voorstelden, gelukt is.

Maar we kunnen onze opnamen waardevoller maken als we met enige dingen rekening houden, die hier besproken worden.

Hoofdstuk 3

Sterrensporen met een stilstaande kamera

1. Spoorlengte

Als we niet te lang belichten, kunnen we de boogjes, die op het negatief beschreven worden, als rechte lijntjes beschouwen. De lengte van deze lijntjes is afhankelijk van de belichtingstijd, de brandpuntsafstand van het objektief en van de deklinatie van de ster.
Voor een ster op de hemelekwator is gemakkelijk af te leiden, dat de lengte gelijk is aan:

$$l = \frac{t \times f}{230}$$

waarin l de spoorlengte in mm is; t de belichtingstijd in minuten, en f de brandpuntsafstand in mm.
Voorbeeld:
Met een objektief van 5 cm brandpuntsafstand en een belichtingstijd van 1 minuut wordt de spoorlengte:
$l = (1 \times 50) : 230 = \pm 0{,}2$ mm.
Als het ons niet speciaal om het dekoratieve effekt te doen is, moeten we de sporen niet langer dan 0,5 mm maken, anders is de kans groot, dat sporen van verschillende sterren in elkaar gaan overlopen. Als u b.v. het Zevengesternte opneemt, moet u de sporen extra kort houden, omdat twee sterretjes ervan bijna dezelfde deklinatie hebben.
Een langer spoor heeft wel eens een voordeel. De zwakste sterren zijn gemakkelijker te herkennen, als het spoor wat langer is. Ook uitgebreide nevelachtige objekten komen bij een langer spoor duidelijker naar voren.
In 1957 fotografeerde A. v. d. Schoot de komeet Mrkos met een stilstaande kamera en een belichtingstijd van 5 minuten. Daarop is duidelijk een brede veeg te zien, die de staart van de komeet op het negatief trok. Bij kortere belichtingstijd zou die niet zo duidelijk geweest zijn (zie foto 62).
Sterren die niet op de hemelekwator staan, trekken met toenemende deklinatie een steeds korter spoor in dezelfde tijd.

Men kan de lengte natuurlijk precies berekenen met de formule:

$$l = \frac{t \times f \times \cos \delta}{230}$$

maar het is eenvoudiger de volgende figuur te gebruiken

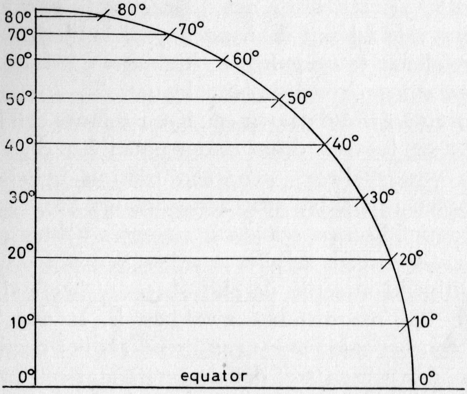


fig. 3

De straal van de cirkel stelt de spoorlengte op de hemel-equator voor. Willen we nu weten hoe lang in overigens gelijke omstandigheden het spoor is van een ster met declinatie 40°, dan trekken we een horizontale lijn vanaf het merkteken 40° tot aan de vertikale lijn.
U ziet dat de spoorlengte in de buurt van de hemelpool snel afneemt.
Om dezelfde spoorlengte te krijgen als op de ekwator moeten we dus steeds langer belichten, en vlak bij de hemelpool moeten we onze pogingen om een even lang spoor als op de ekwator te krijgen, opgeven.
Het is natuurlijk onmogelijk alle sterrensporen op eenzelfde negatief even lang te krijgen.
Als het beeldveld van de kamera b.v. 20 × 30° is, zullen er duidelijke verschillen optreden van spoorlengte als men de onderkant en de bovenkant van het negatief met elkaar vergelijkt, vooral als we op een stuk vlak bij de hemelpool instellen.
Willen we vergelijkbare opnamen van verschillende sterren-

beelden maken, dan is het aan te bevelen de sterresporen op alle opnamen zoveel mogelijk even lang te maken.

2. Spoor-breedte

Deze is afhankelijk van de helderheid van de ster. Hoe helderder de ster, hoe breder het spoor. We kunnen zelf de spoorbreedte variëren door het diafragma te verkleinen. Dit doet ons een middel aan de hand om de helderheden van de sterren met elkaar te vergelijken. Maken we n.l. de volgende opname van sterren rond de hemelequator:
Belicht 2 minuten, houd daarna een halve minuut een blad zwart papier voor de lens en draai ondertussen het diafragma een halve stop verder dicht, weer een minuut belichten, weer blad ervoor en een halve stop terugdraaien etc.
Op het negatief komen nu korte streepjes achter elkaar van dezelfde ster, die steeds smaller worden. We weten dat in zo'n serie elk volgend streepje dezelfde breedte heeft als een ster die *ongeveer* 0,4 magnituden zwakker is. Is dus het eerste spoor van een bepaalde ster even breed als het derde van een andere ster, dan weten we, dat de eerste ster 0,8 magnituden zwakker was dan de tweede.
Vak-astronomen meten vrijwel uitsluitend aan de oorspronkelijke negatieven zelf. Wij, amateurs, kunnen de spoorbreedten echter gemakkelijker meten aan een ca. tienmalige vergroting van het negatief.
De breedte van het spoor is ook afhankelijk van de snelheid waarmee het beeld van de ster over het negatief loopt. En deze is afhankelijk van twee dingen: de deklinatie van de ster en de brandpuntsafstand van het objektief.
Belichten we een sterrenbeeld rond de hemelequator, (b.v. *Orion*) 2 minuten, en ook een sterrenbeeld bij de hemelpool (b.v. de *Grote Beer*) 2 minuten, dan zullen de sterren van de magnitude 2 uit de *Grote Beer* een breder spoor trekken dan sterren van de magnitude 2 uit *Orion*. De sporen van de laatste zijn nl. langer: het „beeldpuntje" van een ster is dus sneller over het negatief getrokken, zodat het de plaat minder intens kon belichten. Wil men nu opnamen van verschillende hemelstreken maken die enigszins vergelijkbaar zijn, dan moet men bij opnamen van sterren met grote deklinatie een kleiner diafragma gebruiken.

Met behulp van fig. 3 kan men berekenen hoeveel men dan moet diafragmeren. 41

Voorbeeld:

Het sterrenbeeld *Orion* hebben we opgenomen met diafragma 2,8 (Orion ligt rond de hemelekwator). We gaan nu de *Grote Beer* fotograferen. We zoeken de deklinatie op, die is gemiddeld ongeveer 60°. We meten nu uit de figuur de spoorlengte voor 0° (50 mm) en voor 60° (25 mm). Hieruit blijkt dus, dat de sterren van de *Grote Beer* ongeveer $25/50 = \frac{1}{2}$ maal zo snel over de plaat lopen als de sterren van *Orion.* Ze zullen dan ook 2 maal zo intens het negatief belichten; om dit te compenseren moeten we het diafragma een hele stop terugdraaien (in dit geval belichten we met diafragma 4). Voor sterren met een deklinatie groter dan 80° is dit natuurlijk niet uitvoerbaar, terwijl dan tevens een zeer groot verschil in belichting van verschillende delen van het negatief optreedt.
Wie zich niet wil plagen met deze finesses en altijd met zijn grootste diafragma-opening werkt, moet er in ieder geval rekening mee houden dat dan de helderheden van de sterren groter lijken naarmate ze dichter bij de hemelpool staan.
Dit heeft tot gevolg, dat bij een bepaalde filmgevoeligheid en een bepaalde kamera, bijvoorbeeld aan de hemelekwator nog alle zichtbare sterren juist een spoor zullen opleveren, maar dat rond de hemelpool zelfs vele sterren op de plaat verschijnen die met het blote oog onzichtbaar zijn. De snelheid waarmee het spoor over het negatief loopt is ook rechtevenredig met de brandpuntsafstand van het objektief.
Als 2 objektieven dezelfde middellijn hebben (de openingsverhouding is immers bij steropnamen niet doorslaggevend, maar de lens-diameter!) en het eerste heeft een 2 maal zo grote brandpuntsafstand dan het tweede, dan zal het beeld van de ster bij het eerste objektief 2 maal zo snel over het negatief lopen, met als gevolg, dat het sterrenspoor ongeveer $\frac{1}{2}$ maal zo breed wordt.
Hoe groter de middellijn van het objektief, des te breder zal het spoor van eenzelfde ster zijn en van des te zwakkere sterren zal men nog een goed zichtbaar spoor op het negatief krijgen. Omdat de helderheid van het beeldje van de ster toeneemt

met het kwadraat van de objektiefmiddellijn, is de invloed van de objektiefmiddellijn zeer groot.
Natuurlijk speelt ook de gevoeligheid van de film een rol. Voor elke 3° Din dat de film gevoeliger is mag men rekenen dat de film 2 maal zo gevoelig is. Het nemen van een 21° Din film i.p.v. een 18° Din film heeft dan ook hetzelfde effect als het gebruik van één diafragma-opening groter; m.a.w. wie een diafragma 2,8 gebruikt met een 18° Din film, krijgt hetzelfde effekt als bij gebruik van diafragma 4 bij een 21° Din film.

3. Uitmeten

Het is niet moeilijk om op onze opnamen de onderlinge afstand der sterren bij benadering te meten. Dit kan op verschillende manieren. We kunnen b.v. *Orion* fotograferen. De meest westelijke ster van de gordel van *Orion* ligt vrijwel op de hemelequator. Elke 4 minuten verplaatst deze ster zich één graad aan de hemel. Door b.v. 12 minuten te belichten, krijgen we een sterrespoor, dat 3° lang is. Dit is dan op ons negatief (en op onze vergrotingen) a.h.w. een maatlatje.
We kunnen ook bij de opname van een of ander sterrenbeeld de afstand van twee beginpunten van sporen meten en op een sterrenkaart opzoeken welke hoekafstand deze sterren tot elkaar hebben; dan hebben we ook een maatstaf voor alle verdere opnamen met hetzelfde objektief. De meeste objektieven (vooral groothoekobjektieven) geven afstanden aan de rand van het beeldveld groter weer dan in het centrum. Hoe groot dit „verbredingseffekt" is kunnen we met behulp van proefopnamen te weten komen.

Instellen

Bij reflex-kamera's is het heel gemakkelijk om op een bepaald sterrenbeeld in te stellen. Bij andere kamera's, waar de zoeker een te klein en daardoor bijna onherkenbaar beeld geeft, kunnen we aan de kamera een latje bevestigen dat evenwijdig aan de optische as gericht staat. Op het einde ervan brengen we van witgeschilderd ijzerdraad een raampje aan en aan het begin een kleine kijkopening. We moeten er natuurlijk voor zorgen dat het beeldveld van deze „grote sportzoeker" overeenkomt met het beeldveld van de kamera. Maar dit is ge-

makkelijk overdag met de normale kamera-zoeker te controleren. De afbeeldingen 83 t/m 90 geven mooie voorbeelden van sterrensporen.

4. Sterrensporen op kleurenfilm

Zeer dankbaar en interessant is ook het fotograferen van sterrensporen op kleurenfilm. Het in de vorige paragraaf behandelde is hierop onverminderd van toepassing.

We wéten, dat de sterren verschillende kleuren hebben. Als we Aldebaran in de *Stier* vergelijken met andere heldere sterren in de buurt, zien we duidelijk dat hij rood is. Maar heeft u wel eens kleurverschillen opgemerkt in b.v. de Drie Geitjes van de *Voerman?*

Onze eerste kleurenopname van sterrensporen was van het sterrenbeeld de *Voerman* en elk van de Drie Geitjes had duidelijk een andere kleur: rood, blauw en groenachtig. Op de reproduktie (foto K 3) is dit niet zo duidelijk te zien. De afbeeldingen K 1, K 2, K 12, K 14 en K 15 laten zien hoe mooi deze opnamen kunnen zijn. Maar probeert u zelf eens de laatste kleurenopname van uw rolletje er op (en begin dan b.v. met de *Kleine Beer*). Wij zijn ervan overtuigd, dat u na het zien van het resultaat direkt een hele kleurenfilm op het firmament verschiet.

Als u de dia's wilt gebruiken om ze voor een groter gezelschap te projekteren, kunt u de kleuren indrukwekkender naar voren laten komen door de sporen wat langer te maken, en ook door onscherp in te stellen. Wat dit betreft kunt u nogal ver gaan. Bij *Orion* stelden we met volle lensopening (f/1,9) in op 1,5 meter en kregen prachtige kleurenvlekken van de helderste sterren die heel duidelijk voor iedereen het grote kleurenverschil toonden. Opvallend was het geheimzinnige rood van de Orionnevel, dat zo heel anders is als het rood van de ster Betelgeuze of van Aldebaran.

Zorgt men bovendien nog bij elk sterrenbeeld voor een goede voorgrondvulling (een dakrand, verlichte ramen, silhouet van t.v.-antennes, boomtakken etc.), dan kan men dia's krijgen die ook voor een groot publiek interessant zijn en daardoor uitgangspunt om iets over de sterrenwereld te vertellen.

Opnamen van sterrensporen in kleuren zijn niet alleen mooier dan zwart-wit opnamen; ze zijn ook interessanter. De kleuren

der sterren komen veel duidelijker naar voren dan bij het bekijken met het ongewapend oog of door de kijker en de kleuren der sterren vertellen ons iets over hun temperatuur, hun spektrum en indirekt over het ontwikkelingsstadium waarin ze verkeren. Wie een sterrensporen-foto in kleuren ziet, gaat zich veel meer afvragen dan bij een zwart-wit foto; en de gegevens die hij over die sterren opgezocht heeft gaan hem meer zeggen.
Wie nog sporen van vrij zwakke sterren op zijn opname wil zien, moet de gevoeligste film gebruiken die te krijgen is. Op het ogenblik bevalt Kodak High Speed Ektachrome (23° Din) het beste.

5. Een fotografische sterrenatlas in twee maal twintig minuten

Een foto met sterrensporen blijft altijd nog maar een foto met sterren*sporen*, en we zouden zo graag een echte sterrenfoto met „puntvormige" sterren erop hebben. Ook dit is nog mogelijk met een stilstaande kamera. Wel moet de optiek dan vrij lichtsterk zijn en u moet uw toevlucht nemen tot de gevoeligste films.
Wij kregen zeer bevredigende resultaten met een kleinbeeldkamera met een f/2-lens, brandpuntsafstand 5 cm (de lensmiddellijn is dan ongeveer 2,5 cm) en de Agfa Isopan-Record film, waarvan men de gevoeligheid opgeeft als ca. 35° Din. Tri-X is ook goed te gebruiken (afb. 7, 8 en 91 t/m 94).
Het hele verschil met het opnemen van sterrensporen bestaat hierin, dat men korter belicht, zodat de streepjes op puntjes gaan lijken. Wie dit met een lichtzwak objektief en/of met een laaggevoelige film zou doen, zou maar heel weinig sterren op deze wijze registreren.

Hoe lang mogen we belichten?

Juist zo lang dat de beeldjes van de sterren nog puntjes lijken. Zodra de sterren door de beweging van het hemelgewelf duidelijk als streepjes op een matige vergroting (van ca. 5 maal) te herkennen zijn, kunnen we niet meer spreken van een „echte sterrenfoto". Opnamen in de buurt van de hemelpool kunnen ons hier op een dwaalspoor brengen; die zijn zelfs op onze sterrenspooropnamen bijna puntvormig. Omdat we

ook opnamen rond de ekwator maken, zullen we onze belichtingstijd naar deze laatste moeten regelen.
In paragraaf 1 vonden we, dat de spoorlengte voor een ster op de ekwator, met een objektief met brandpuntsafstand van 5 cm en een belichtingstijd van 1 minuut gelijk was aan 0,2 mm op het negatief. Op een 5-malige vergroting (het hele negatief wordt dan vergroot op ca. 13×18), wordt dit dus 1 mm. Of het beeld van de ster er dan puntvormig uitziet of niet, hangt af van de spoorbreedte. Als die ook 1 mm of iets groter is, is alles in orde. We weten echter, dat de spoorbreedte van vele faktoren afhankelijk is. Hoe breder hier het spoor, hoe langer we mogen belichten.
Maar op éénzelfde opname komt een grote verscheidenheid van spoorbreedten voor, afhankelijk van de helderheid der sterren. Uit proefopnamen met de in het begin van deze paragraaf genoemde kombinatie bleek, dat sterren van m 5 op de hemelekwator, bij een belichtingstijd van 1 minuut, nog redelijk waren; ze kwamen tevoorschijn als ellipsjes waarvan de lange as iets groter was dan 2 maal de korte as en dat geeft nog wel een indruk van punten i.p.v. strepen.
Eveneens bleek de *minimum belichtingstijd* (waarbij nog alle met het ongewapende oog zichtbare sterren geregistreerd werden) ongeveer 20 sek. te zijn. Dit alles is natuurlijk helemaal afhankelijk van de gebruikte film en de gebruikte optiek (zie foto 84, 85 en 87).

Hoeveel opnamen zijn nodig om de sterren van de halve hemelbol te fotograferen?

Dit hangt af van de grootte van het beeld. Een kleinbeeldkamera met normale optiek heeft een beeldveld van ca. $20° \times 30°$. Gebruikt men daarvan slechts een gedeelte van $18° \times 24°$, dan is het beeld tot de rand vrijwel zonder vertekening.
Als we nu de kamera 9° boven de horizon stellen, is het duidelijk, dat wij $360 : 24 = 15$ foto's moeten maken om het hele hemelgewelf tot een hoogte van 18° te fotograferen. Zorgen we daarna dat de kamera een hoek van $18° + 9°$ met de horizon maakt, dan kunnen we aan de tweede reeks opnamen beginnen. (zie fig. 4) Natuurlijk behoeft deze tweede reeks opnamen niet uit 15 te bestaan. Uit hoeveel dan wel? Dit zullen we dadelijk berekenen. Bij de derde reeks maakt

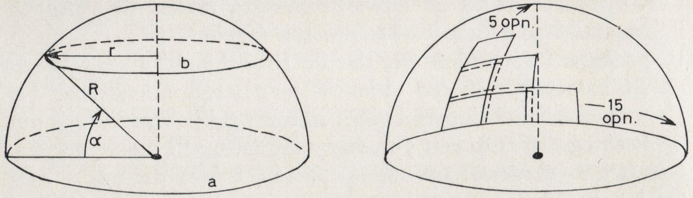


fig. 4

de kamera een hoek van 36° + 9° met de horizon, bij de vierde reeks een hoek van 54° + 9° en bij de laatste een hoek van 72° + 9°.

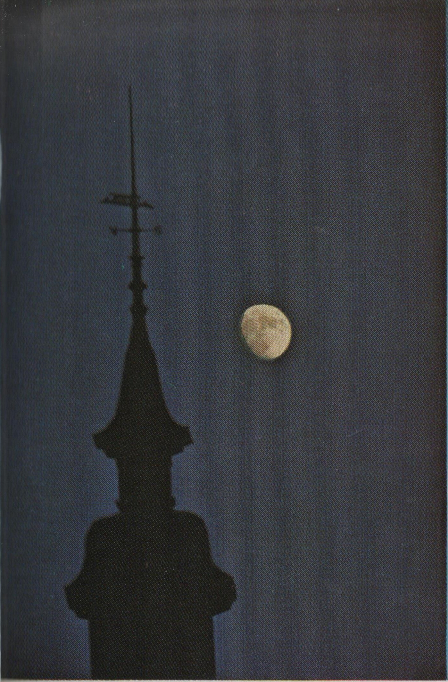
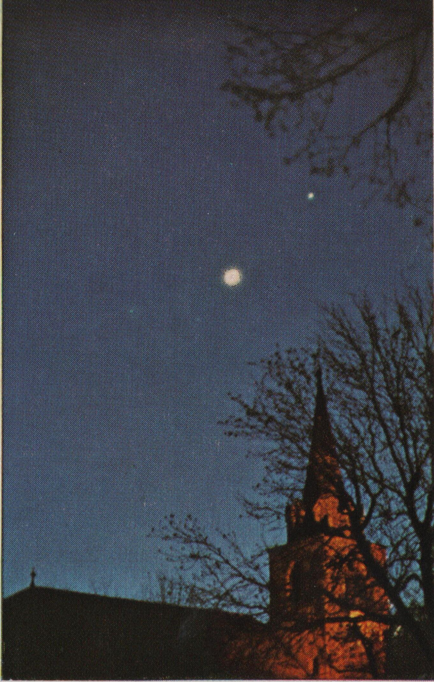
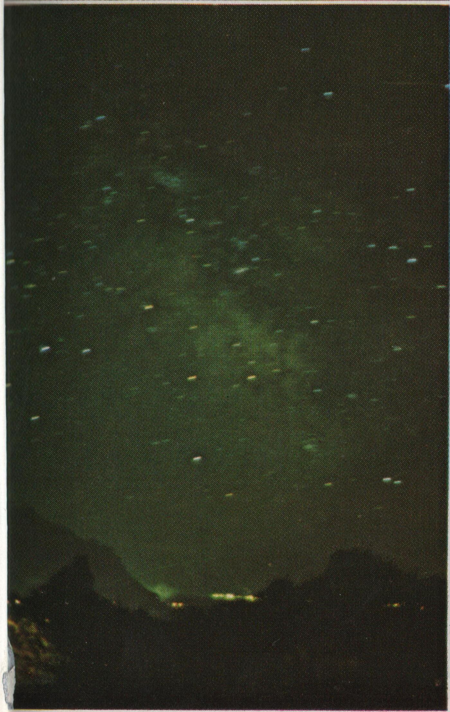
Het aantal opnamen, dat men moet maken om de cirkel *b* aan de hemel te fotograferen, verhoudt zich tot het aantal opnamen om de horizon te fotograferen als de omtrek *b* tot de omtrek *a*. Of ook (zie fig. 4) als r/R = cos α.

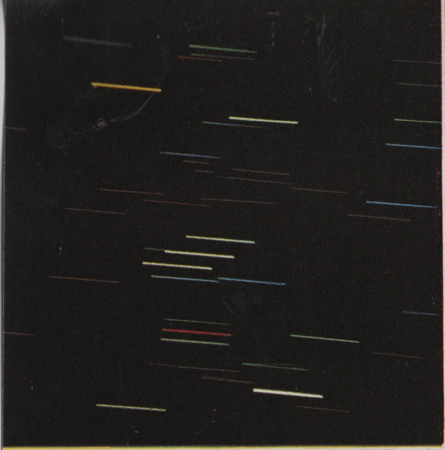
Wie zich niet vermoeien wil met deze afleiding en de berekening kan de opgaven uit het volgende lijstje gebruiken.

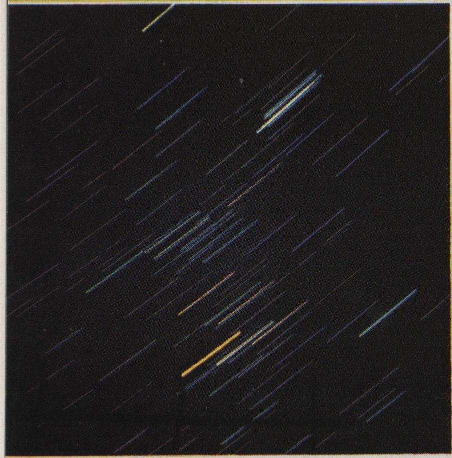
α	aantal opnamen	aantal graden dat men de kamera na elke opname moet draaien.
9	15	24
27	14	26
45	12	30
63	9	40
81	4	90

Hieruit volgt, dat men in totaal 54 opnamen moet maken om met deze kamera de halve hemelbol te fotograferen. Houden we een belichtingstijd van 20 sek. aan en maken we er een wedstrijd van (wat ik u niet aanraad) dan kunt u mét het inzetten van een nieuwe film er nog in 20 min. mee klaar zijn. Doen we het een half jaar later nog eens op dezelfde tijd, dan hebben we ook juist de rest van de in ons land zichtbare sterrenhemel gefotografeerd. Als u echter iets van de dagelijkse beweging van de sterren en de beweging van de zon

K 8, 9, 10 11. Links boven: *Maan* met 30 cm telelens. Rechts boven: *Maan* en *Venus*. Links en rechts onder: Melkweg in de *Schutter*. (Kleinbeeldopnamen Robert Phildius, Zwitserland.)





langs de dierenriem afweet, hoeft u heus geen half jaar te wachten om uw fotografische hemelatlas kompleet te maken. Met een gevoelige kleurenfilm zouden we ditzelfde kunnen doen (foto K 5, K 6, K 7, K 10 en K 11).
Om er zeker van te zijn, dat een bepaald stipje een realiteit aan de hemel weergeeft en geen fout van het fotografisch materiaal is of van het fotografisch procédé, is het verstandig elke opname twee maal te maken.

6. Bijzondere onderwerpen

Kunstmanen. Als u een kunstmaan aan de hemel verwacht, of u ziet hem al komen, stel dan de kamera in op een gedeelte van de hemel waar de kunstmaan overheen zal trekken.
U kunt de waarneming nog waardevoller maken door, zodra u weet dat de kunstmaan ongeveer midden in het beeld is, 5 sec. lang een zwart papier voor de lens te houden en de juiste tijd van het begin van deze „bedekking" op te nemen. U kunt dan later in de opname uitmeten waar de kunstmaan precies tussen de sterren stond op een bepaald tijdstip. Zie verder hoofdstuk 6.

Meteoren. Het is mogelijk om heldere meteoren op de film te krijgen. Omdat deze echter zo snel langs de hemel bewegen zijn eigenlijk alleen maar zeer lichtsterke, apart hiervoor gekonstrueerde objektieven geschikt voor een „jacht op meteoren". Zie hoofdstuk 7.

Het her-ontdekken van kometen. Elk jaar wordt een aantal vrij lichtzwakke kometen ontdekt. Men vindt dan in verschillende sterrenkundige publikaties voor de amateur-astronoom de plaats aan de hemel voor elke dag opgegeven. Het opzoeken van deze kometen met het blote oog of de kijker aan de hand van een sterrenkaart is langdurig en tijdrovend. Veel eenvoudiger is het een opname te maken van de hemelstreek waarin de komeet zich bevindt en die dan later te vergelijken met de sterrenkaart. Op deze wijze hebben wij op 29 april 1960

K 12, 13, 14, 15, 16, 17. Links boven: *Orion*, 10 minuten, $f/2$, $f = 125$ mm. Rechts boven: *Orion*, 15 minuten, $f/2$, $f = 125$ mm. Links midden: *Stier* en *Zevengesternte*, 15 minuten, $f/2$, $f = 125$ mm. Rechts midden: *Perseus*, 20 minuten, $f/2$, 125 mm. Links onder: Volle *Maan*, $f/2{,}8$, $f = 80$ mm, 10 sek. Rechts onder: *Maan*, *Venus* en *Jupiter*, 10 sek., $f = 125$ mm. (6×6 opnamen van A. Küng, Zwitserland, op Ektachrome.)

de komeet Burnham aan de hemel gevonden. De avonden vóór 29 april was het nog mogelijk, dat de komeet te laag aan de bij ons (door straatverlichting) heldere noordelijke horizon stond, maar op 29 april moest de komeet al in de Kleine Beer staan en toch zagen wij hem niet. Wij maakten een opname van 1 minuut op Isopan Record, ontwikkelden en fixeerden meteen. Het negatief ging nog nat in het vergrotingstoestel. Onder het vergrotingstoestel lag het blad van Norton's Star Atlas, waarop de Kleine Beer voorkwam en de vergroting werd zo gekozen, dat de sterren samenvielen met die van de atlas. Toen bleef er duidelijk één sterretje onbedekt: Dit was de komeet Burnham, die daarna ook gemakkelijk aan de hemel te vinden was (foto 63).

De planeten Uranus en Neptunus en enige planetoïden zijn ook op deze eenvoudige wijze op te sporen. Ook zelfs zonder sterrenkaart, want als men een week na de eerste opname nog eens dezelfde hemelstreek fotografeert, heeft de planeet zich iets tussen de sterren verplaatst.

Stereoskopische opnamen van de heldere planeten en het bepalen van hun baan tussen de sterren.
Als we om de 3 dagen b.v. de planeet Mars fotograferen en dit enige tijd volhouden, kunnen we uit onze opnamen de baan van de planeet tussen de sterren tekenen. Vooral interessant is dit omstreeks de tijd dat de planeet zijn „lus begint te beschrijven".
Twee van deze opnamen (die b.v. 3 dagen uit elkaar liggen) kunnen we gebruiken om ze in een stereoskoop te bekijken. Omdat de planeet zich tussen de sterren verplaatst heeft, zal het lijken alsof hij voor een achtergrond van sterren zweeft. (Zie ook hoofdstuk 10.) Hetzelfde geldt voor kometen.

De baan van zon en maan langs de hemel is eenvoudig te fotograferen. Men kan om het half uur een opname maken en krijgt dan bij een beeldveld van 30° drie opnamen op hetzelfde negatief. Daarna moet men de kamera opnieuw instellen. Uiteindelijk kan men de vergrotingen van alle opnamen sekuur aan elkaar plakken. Zeer mooie voorbeelden hiervan hebben wij gezien op kleurenfilm van de poolzon in de loop van 24 uur. Ook opnamen van amateurs bij verschillende

zonsverduisteringen o.a. bij de laatste gedeeltelijke zonsverduistering in Nederland, waren op deze wijze gemaakt (foto 55 en 57). Foto 40 toont dit voor een maansverduistering.

Zorg voor een voorgrondvulling als het de bedoeling is om ook een echt mooie foto te maken. Hier ligt een heel gebied braak voor de amateur-fotograaf die zich nog nooit met sterrenopnamen heeft beziggehouden en die ook voornamelijk belangstelling ervoor heeft in zoverre er „mooie" foto's in zitten.

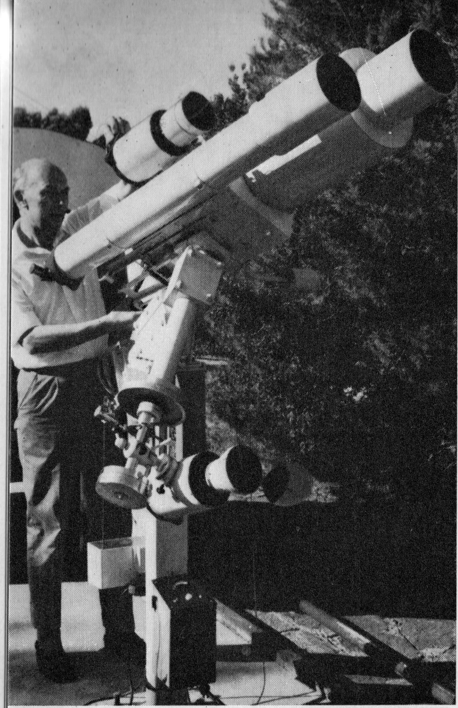
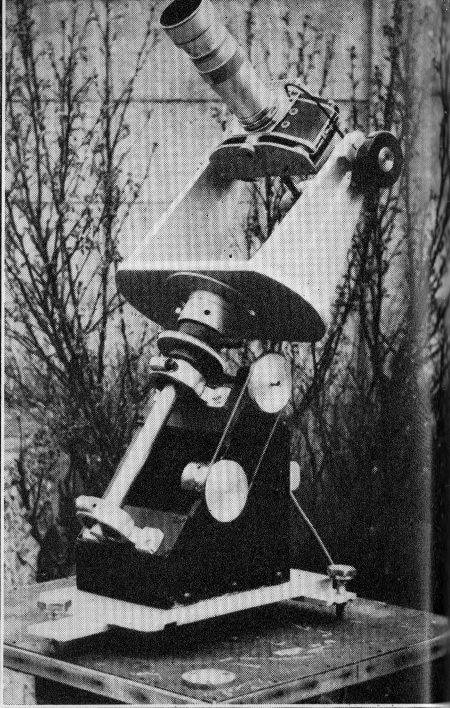
7. Beschrijving van de opnamen

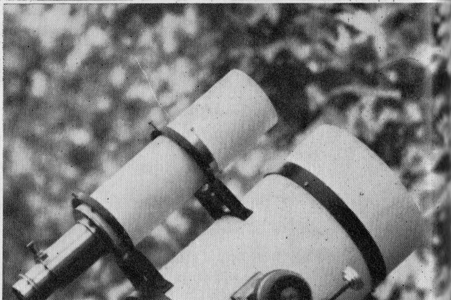
Tot slot nog een goede raad die geldt voor al onze opnamen. Wie iets wil presteren op het gebied van sterrenfotografie moet niet alleen ervaring opdoen, maar die ook *vastleggen.* U kunt dan van de opgetekende gegevens gebruik maken voor latere opnamen. Er is niets zo vervelend als een aantal astronomische foto's zonder genoeg informatie. Wij hebben helaas veel van zulke foto's. (U zult, evenals wij, verschillende gegevens bij de in dit boek gereproduceerde foto's node missen.)
Aanvankelijk werkt men met één kamera en één teleskoop en dan lijkt het niet de moeite waard iets over de gebruikte optiek aan te tekenen. Jaren later, als het instrumentarium is uitgebreid, weet men echter met geen mogelijkheid meer met welke kijker of kamera een bepaalde foto is gemaakt.
De volgende gegevens moet men minimaal aantekenen bij de foto's:

a. Kamera of teleskoop: D, f. Eventueel gebruikte filters. Belichtingstijd.
b. Filmsoort, ontwikkelaar, wijze van ontwikkelen.
c. Datum, tijd en plaats van de opname.
d. Naam van het gefotografeerde objekt.

Als voorbeeld een beschrijving van foto 28:

a. Newton-teleskoop. D = 300 mm, f = 2800 cm. Oculairprojektie tot f/60.
1 sekonde.
b. Kodachrome-X.
c. 29-8-'64. 23.30. Plaats... ?
d. Maan: Plato en Alpendal.



Hoofdstuk 4

Kamera en kameraopstellingen

Het is natuurlijk *mogelijk* een groepsfoto van 120 personen te maken op half-kleinbeeld formaat, alleen zullen de afzonderlijke mensen nauwelijks te herkennen zijn. Zo is het ook bij het fotograferen van hemellichamen: de keuze van kamera, film en eventuele filters hangt af van het hemellichaam of hemelverschijnsel dat we willen fotograferen.
Zo hebben we bij het fotograferen van *zonnevlekken* niets aan een lichtsterke kamera, niets aan een gevoelige emulsie, en weinig aan een grote diameter van het objektief. Verder is een volgmechanisme overbodig.
Wat we wel nodig hebben is: een objektief met een grote brandpuntsafstand (voor een groot en detailrijk beeld), een niet te grote objektiefdiameter*) om overmatige verhitting te vermijden. Verder is het gebruik van neutrale grijsfilters, een laaggevoelige emulsie en een zeer korte belichtingstijd noodzakelijk als aanpassing aan de enorme helderheid van de zon.
Willen we daarentegen de *Andromedanevel* fotograferen, dan doen we met bovenstaande kombinatie niet veel. Hier hebben we behoefte aan een lichtsterk objektief, met een matige brandpuntsafstand (als het ons niet gaat om een detailrijk beeld, kan de brandpuntsafstand zelfs erg kort zijn), een volgmechanisme en een volgkijker, zodat we minstens 15 minuten kunnen belichten en een gevoelige emulsie. Een sluiter is geheel overbodig.
Nu heeft de amateur niet zo maar een uitrusting tot zijn beschikking die optimale resultaten oplevert voor elk objekt.

*) Waarbij we wel moeten bedenken dat het scheidend vermogen bij een grotere objektiefdiameter groter is.

13, 14, 15, 16. Links boven: Hans Vehrenberg bij zijn opstelling van astrokamera's die hij in Zuid-Afrika gebruikte voor de opnamen van het Zuidelijk deel van de sterrenhemel.
Rechts boven: Automatisch volgmechamisme voor een kleine kamera.
Links onder: een vast tableau voor kleine instrumenten in de tuin.
Rechts onder: Schmidt-kamera. (W. H. de Voogd)

Objekt	f	D	f/D lichtsterkte
Zon	+	o —	—
Maan	+	(— o) +	—
Planeten	+	+	—
Totale zonsverduistering	+ (o)	o (+)	o
Sterrenvelden	—	(o) +	(o) +
Sterrenhopen	(o) +	(o) +	(o) +
Nevels en kometen	(o) +	+	+
Meteoren	— o	+	+
Kunstmanen	o	+	+

Hij zal roeien met de riemen die hij heeft; soms een minder goed resultaat op de koop toe moeten nemen en op de duur zijn instrumentarium uitbreiden in de richting van zijn belangstelling. In het bovenstaande overzicht is bij ieder onderwerp een gunstige kombinatie aangegeven. Het is aan te bevelen als u de bovenste rij en de eerste vertikale kolom zelf op een vel papier overneemt en dan, zonder te kijken naar het bovenstaande overzicht zelf alle kolommen invult. Dit is niet zo moeilijk na bestudering van hoofdstuk 2.

\+ betekent: *ja*, of *groot*

o betekent: *in sommige gevallen* of *middelmatig*

— betekent: *nee* of *klein*

Als een der tekens tussen haakjes staat betekent dit dat deze mogelijkheid niet uitgesloten is, maar geen maximaal resultaat oplevert.

2. Opstellingen bij korte brandpuntsafstanden

Gebruiken we een kamera met een korte brandpuntsafstand en volgen we niet (bijvoorbeeld voor het fotograferen van sterrensporen), dan moet de kamera op een of andere manier enige tijd een vaste stand innemen. Het eenvoudigste is hiervoor een stevig fotostatief te gebruiken.

Willen we daarentegen met dezelfde kamera de hemellichamen volgen, dan kunnen we de kamera op een parallaktische opstelling monteren, waarvan de poolas naar de hemelpool wijst (afbeelding 14). Het bewegingsmechanisme wordt aangedreven door een kleine synchroonmotor. Zo'n opstelling kan gemakkelijk op een vast tableau in de tuin gezet worden (afbeelding 15). Drie punten op het tableau geven de plaats

beeldhoek	volg-mechanisme	belichtings-tijd	filter	film-gevoeligheid
—	—	—	+	—
—	(—o)+	—	—	(—)o(+)
—	+	—	(—)o	(—)o
—	+	—	—	o
+	+	(o)+	—(o)	+
(—)o	+	(o)+	—(o)	+
(—)o(+)	+	+	—	+
(o)+	—	+	—	+
o	—o	o	—	+

aan van de drie stelschroeven van de parallaktische montering. Afbeelding 17 en 18 tonen een parallaktische opstelling voor een astrokamera met een groot beeldveld en korte brandpuntsafstand. Op de wieg waarop deze kamera rust, zijn tevens een zoeker en een volgkijker gemonteerd.

Als we een parallaktisch gemonteerde teleskoop hebben, kunnen we de kamera op de kijkerbuis, op de deklinatieas, of op het verlengde ervan bevestigen. In afbeelding 13 ziet u een opstelling die door Dr. Hans Vehrenberg werd gebruikt op het Boyden-observatorium in Zuid-Afrika, waar hij het zuidelijk deel van zijn hemelatlas maakte. Op de deklinatieas is een wieg gemonteerd, waarin zijn Schmidt-kamera rust. Aan de zijkant daarvan de lange volgkijker en een kleine astrokamera. Onder aan de deklinatieas (als tegenwicht) is eenzelfde astrokamera (ϕ 71 mm, f = 250 mm) bevestigd. Met de kleine astrokamera's werd de grote sterrenatlas opgenomen (foto 60 en 61) en de lichtsterke Schmidt-kamera werd gebruikt voor opname van nevels. (foto 95, 113, 118, 127, 128, 129, 132.)

Op afbeelding 19 zien we rechts een Newtonkijker; op dezelfde as is links een Maksutovkamera gemonteerd.

Voor kamera's met korte brandpuntsafstand (van f = 35 mm tot f = 500 mm) hebben we dus de volgende mogelijkheden:

Niet volgen	Kamera op fotostatief
Volgen	Kamera op parallaktische montering met aandrijving en volgkijker. Kamera op de parallaktische montering van onze teleskoop. De teleskoop wordt dan als volgkijker gebruikt.

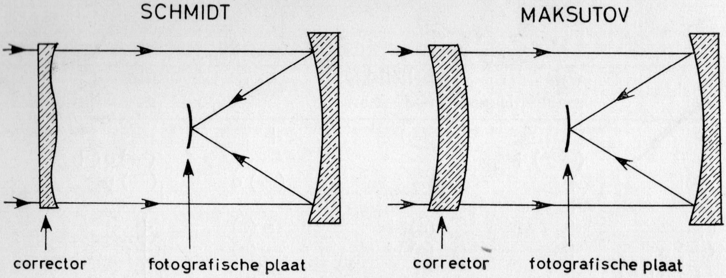


fig. 5

Wat de kamera met korte brandpuntsafstand zelf betreft, daarvoor komen op de eerste plaats in aanmerking een kleinbeeldkamera, een 6 × 6 of 6 × 9 kamera. Zo is bijvoorbeeld foto 58 met een gewone box-kamera (6 × 9) genomen en foto 59 met een kleinbeeldkamera. Hebben onze kamera's verwisselbare optiek, dan zijn de mogelijkheden nog uitgebreider.
Verder zijn er astrokamera's in de handel, lichtsterk en met vrij grote beeldhoek zoals de door Vehrenberg gebruikte kamera's. Als we beschikken over een oud objektief, of over een van de vele soorten legerobjektieven die meestal voor luchtkartering gebruikt werden, kunnen we daarvan zelf een kamera maken. In de volgende paragraaf gaan we hier uitvoeriger op in.
Ten slotte komen nog zeer speciale kamera's in aanmerking als het gaat om grote lichtsterkte en een groot beeldveld; nl. de Schmidt-kamera en de Maksutov-kamera. Voor het fotograferen van nevels en grote sterrenvelden zijn ze uitermate geschikt, maar.... kant en klaar zijn ze zeer duur; de zelfbouw (waarbij we aannemen, dat de optiek gekocht wordt) vraagt de gereedschappen en de precisie van een vakman en ten slotte is het aanbrengen van de fotografische plaat tussen de corrector en de hoofdspiegel niet eenvoudig, temeer daar deze fotografische plaat een bepaalde kromming moet hebben. Een schematische tekening van beide soorten kamera's vindt u hierboven. Afbeelding 16 laat een Schmidt-kamera zien en afbeelding 19 links een Maksutov-kamera.

3. De pillendooskamera

Een bekend amateur-astronoom, Dr. H. Kreusler heeft eens

gezegd, dat sigarenkistjeshout het belangrijkste materiaal voor de amateur-astronoom is. Van hem komt ook de uitdrukking „pillendoos-kamera". Hij had nl. zijn eerste astro-kamera van een pillendoosje gemaakt en was over de resultaten helemaal niet ontevreden.
De oorspronkelijke pillendoos-kamera is een zeer primitief geval, dat iedereen in korte tijd in elkaar kan knutselen. Dat zullen we eerst beschrijven. Maar de „geperfektioneerde pillendooskamera", die echter wat draaiwerk vraagt, paart aan zijn eenvoudige konstruktie grote precisie en bruikbaarheid. Het kenmerk van beide is het ontbreken van een sluitermechanisme en een continu regelbaar diafragma.
Maar deze hebben we voor astronomische opnamen slechts bij uitzondering nodig.

Het objektief kan een achromaat zijn, maar we hebben zelfs aardige resultaten gezien met een enkelvoudig vergrootglas (foto 96).
Het objektief wordt in een kartonnen koker *a* vastgemaakt. Om de kartonnen koker *a* schuift de kartonnen koker *b*. Op het einde van koker *b* past een kartonnen pillendoosje *c*, waarin een opening is gemaakt. Het pillendoosje is de filmkassette, want op de achterwand daarvan bevestigt men op een of andere wijze een stukje film (b.v. door het tussen twee vaste stripjes hard plastic te schuiven (zie figuur 6). We gaan nu deze kamera op oneindig instellen. Daarvoor bevestigen we in het pillendoosje een stukje blanke film (liefst iets belicht en daarna ontwikkeld en gefixeerd, zodat er een fijn soort „matglas" ontstaat). Door koker *a* minder of meer uit te

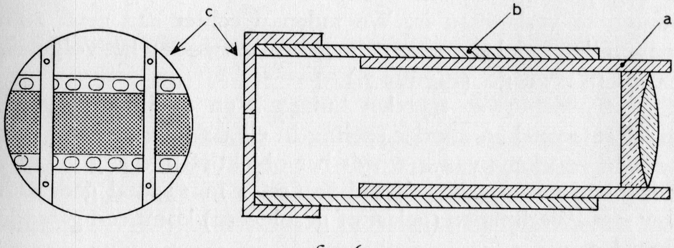


fig. 6

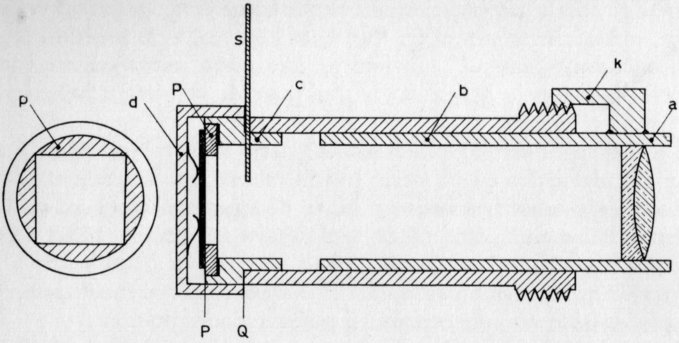


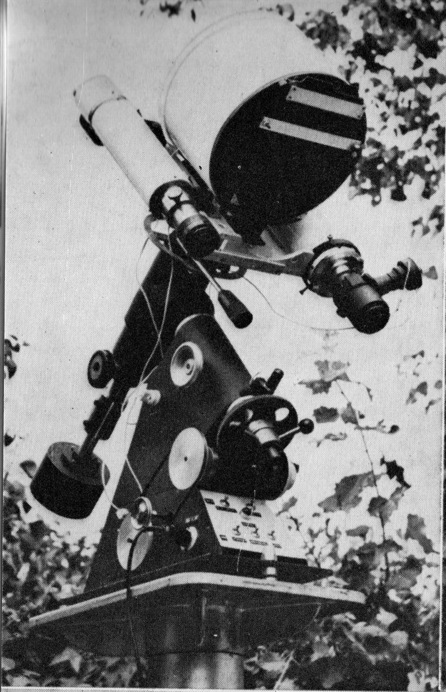
fig. 7

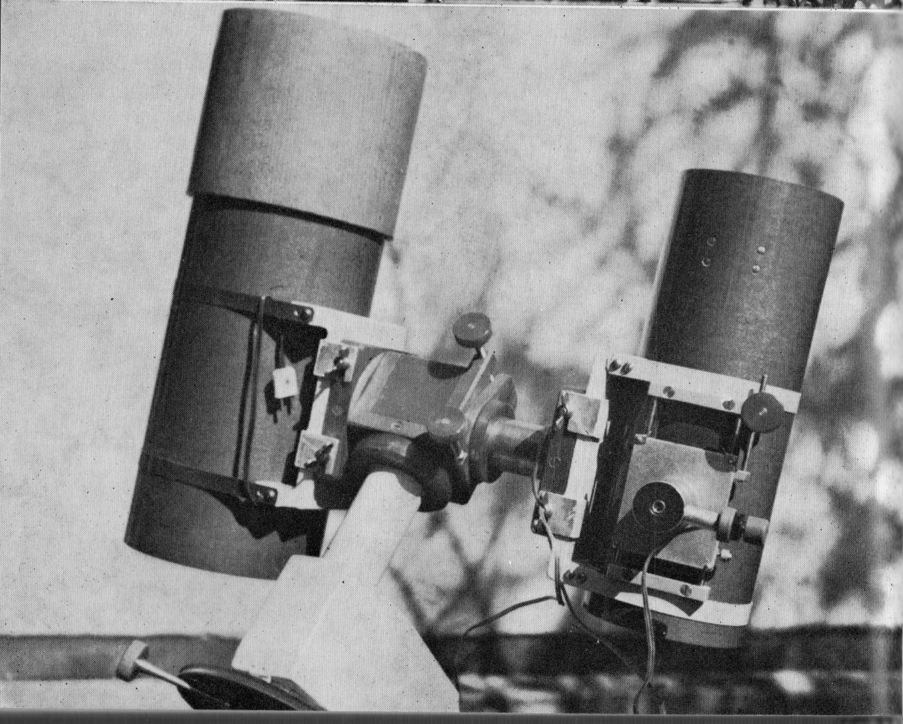
schuiven kunnen we scherpstellen op de maan of op een heldere ster.
U moet het beeld instellen op het stukje film, dat u door het gaatje kunt zien. Voor de opname moet u natuurlijk dezelfde soort film (kan ook een glazen plaat zijn) gebruiken als voor het instellen, anders wreken dikteverschillen zich in onscherpte.
Nu zorgt u dat de twee kokers *a* en *b* niet meer ten opzichte van elkaar kunnen verschuiven en „vult" de pillendoos in de donkere kamer. Het gaatje wordt met een stukje zwart papier afgedekt, en het dekseltje gaat op het pillendoosje om geen licht bij de gevoelige plaat te laten komen. Het opzetten van het pillendoosje moet natuurlijk ook in het donker gebeuren; enig sterrenlicht en wat licht van verre lantarens storen echter niet noemenswaard.
U begrijpt, dat deze heel primitieve kamera nog op allerlei punten te verbeteren is. We raden u echter aan eerst zo'n eenvoudig model te maken en te gebruiken voor u het volgende model overweegt. (Figuur 7.)
Eerst worden twee metalen buizen *a* en *b* fijn afgedraaid, zodat ze soepel en zonder speling in elkaar kunnen schuiven. Aan de voorkant van *a* wordt het objektief bevestigd. Op *b* wordt een zware schroefdraad van ca. 2 mm spoed gedraaid. Star met *a* verbonden (gelast of gesoldeerd) komt een getande kam *k*.

Door draaiing van *a* kan men nu heel zuiver instellen (tevoren heeft men de lengte der beide buizen zo gekozen, dat de totale lengte reeds ongeveer overeenkomt met de instelling op oneindig).
De cassette is iets ingewikkelder van bouw. Het is een stuk buis *c*, waarop een plaat *p* geschroefd is. Deze plaat heeft een vierkante opening, iets kleiner dan het gebruikte filmformaat. De cassette wordt van achteren afgesloten door een deksel *d*, met een kijkopening die afgesloten kan worden. Van voren kan de gevoelige plaat bedekt worden door de schuif *s*.
Als men meerdere cassettes maakt of laat maken, moet de afstand PQ nauwkeurig aangehouden worden. De afsluiting door de schuif *s* is niet zo eenvoudig lichtdicht te maken; daarom is het verstandig, gevulde cassettes in een lichtdicht gesloten doos te bewaren.
Binnen in deze deksel is met twee stalen bladveren een goedvlakke aandrukplaat bevestigd, die de film tegen de plaat met de vierkante opening drukt.
Dezelfde pillendoos-kamera kan voor verschillende objektieven gebruikt worden, als aan de voorkant verschillende verlengstukken aangebracht kunnen worden. Ze kan ook (zonder objektief) op de buis van een teleskoop geschroefd worden.
Bij het gebruik van glasplaten is het vlak houden van de film geen probleem, bij het gebruik van stukjes kleinbeeldfilm ook niet. Bij stukken van een 6 × 9 rolfilm wordt het al veel moeilijker. Als men een hele rolfilm wil gebruiken, vervalt de cassette en doet men het beste een oude kleinbeeldkamera zonder lens daarvoor in de plaats te monteren en voor grotere formaten een oude box-kamera.

4. Opstellingen voor lange brandpuntsafstanden

De meeste professionele teleskopen met lange brandpuntsafstand zijn eigenlijk kamera's. In vele gevallen zijn ze zelfs niet eens te gebruiken voor visuele waarnemingen. Als de amateur een lange brandpuntsafstand nodig heeft (bijvoorbeeld voor maan- en planetenfotografie) zal hij daarvoor het objektief van zijn teleskoop gebruiken. Een heel primitieve en toch efficiënte methode is: haal het oculair uit de kijker en





schuif over de buis van de focusseerinrichting het „pillendoosje" uit de vorige paragraaf. Als u een kamera heeft met een verwisselbaar objektief, dan kunt u het objektief van de kamera verwijderen en de kamera (met een tussenring die u daarvoor moet laten draaien) aan de buis van de focusseerinrichting bevestigen. Het voordeel is dat u dan niet telkens een nieuw stukje film in behoeft te zetten. Bij een spiegelreflex-kamera heeft u bovendien nog het voordeel dat het scherpstellen op het matglas weinig moeilijkheden geeft.
Behalve dit fotograferen in het brandpunt van onze teleskoop, zijn er nog verschillende andere mogelijkheden, waarbij het tevens mogelijk is de effektieve brandpuntsafstand te vergroten (of te verkleinen).

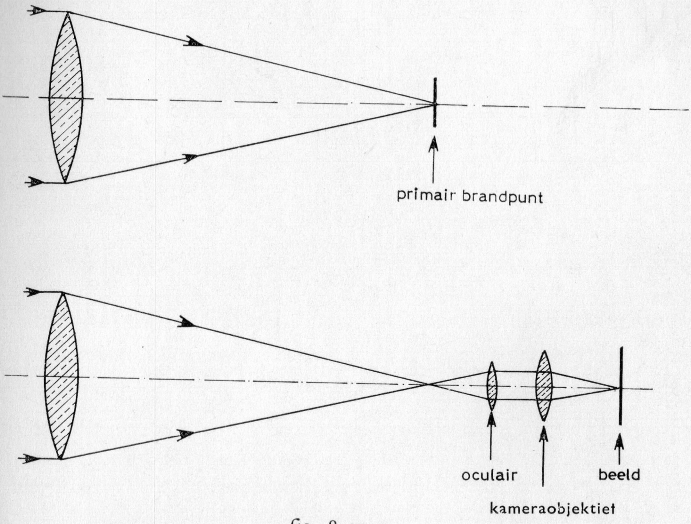


fig. 8 en 9

17, 18, 19. Boven: Astrokamera op parallaktische opstelling met zoeker en volgkijker. (Volkssterrenwacht.)
Onder: Maksutov-kamera met een Newton-teleskoop als volgkijker (G. Klaus, Zwitserland).

Teleskoopobjektief-oculair-kameraobjektief

Dit is de aangewezen methode als we een kamera moeten gebruiken waarvan het objektief niet te verwijderen is. De teleskoop wordt eerst scherp gesteld op oneindig. De kamera wordt ook op oneindig ingesteld. De kamera komt nu direkt achter het oculair.
De effektieve brandpuntsafstand wordt nu:

$$F = \frac{\text{f teleskoop}}{\text{f oculair}} \times \text{f kamera}$$

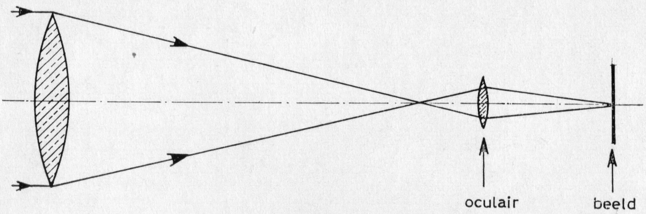
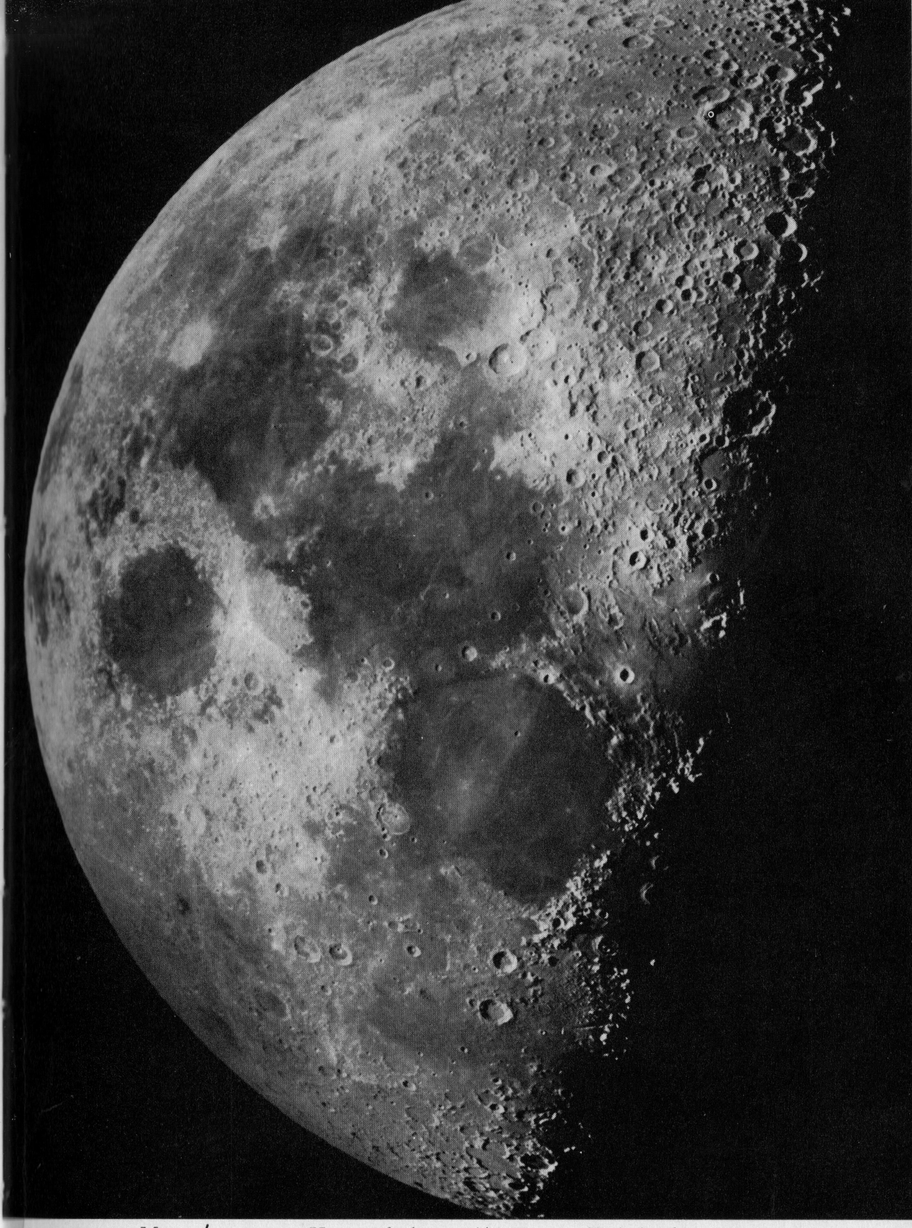


fig. 10

Teleskoopobjektief-oculair. (Oculairprojektie)

Het kamera-objektief wordt hier niet gebruikt, maar het oculair wordt iets verder van het teleskoopobjektief afgebracht. Het oculair projekteert nu het primaire beeld op de film. Hoe verder het oculair uitgetrokken wordt des te kleiner wordt het beeld, omdat het dichter bij het oculair gevormd wordt. We kunnen dus de effektieve brandpuntsafstand zelf regelen. Deze methode wordt veel toegepast bij zon-, maan- en planetenfotografie. Wel heeft u hiervoor een goed orthoskopisch oculair nodig. Het oculair is goed voor oculairprojektie als het, normaal gebruikt in een teleskoop, in het centrum en aan de rand van het gezichtsveld een mooi puntvormig beeld van een heldere ster geeft. U kunt er ook een los kamera-objektief voor gebruiken.



20. *Maan*, ϕ 300 mm Kutterteleskoop. (A. Kutter, Duitsland.)

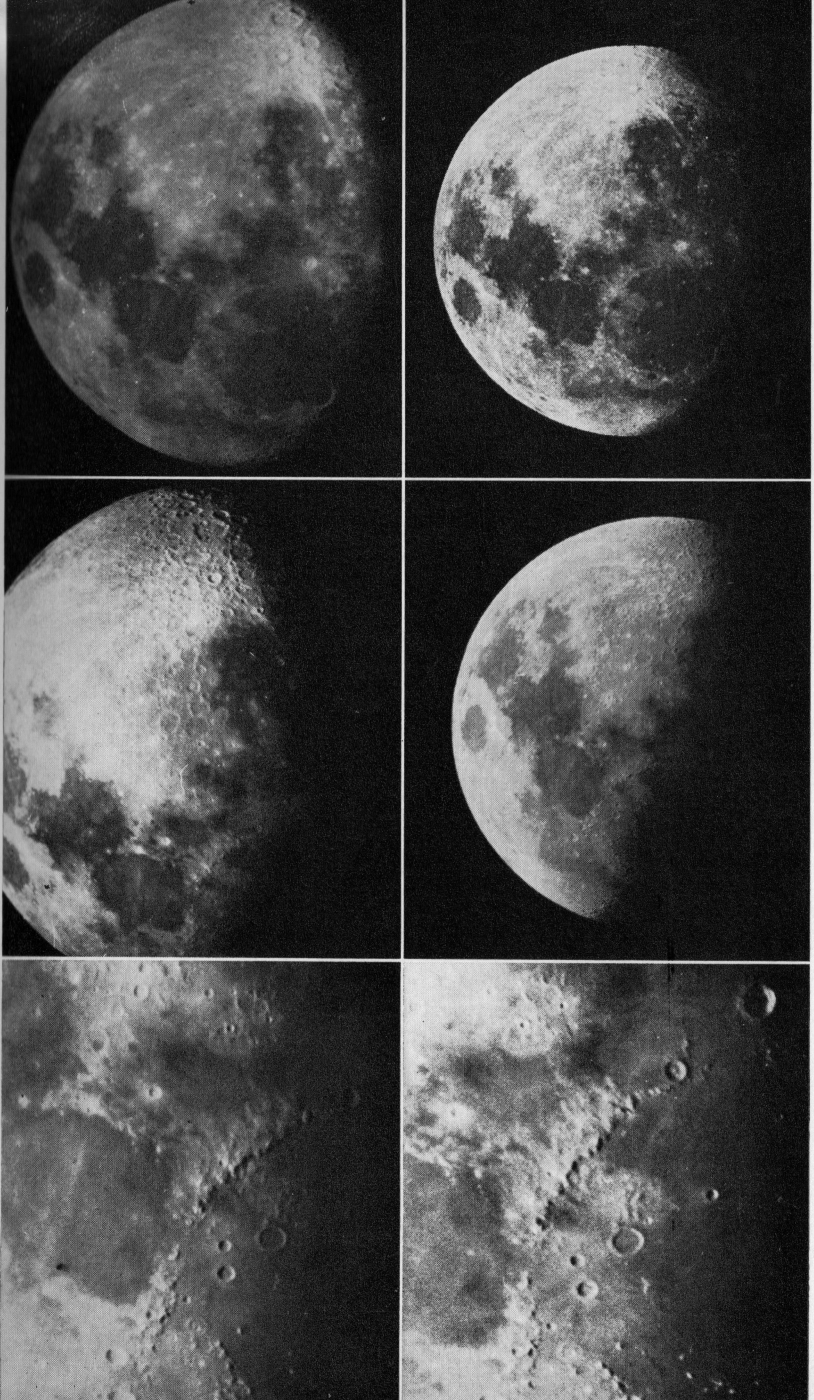
21 t/m 26. Links boven: 1 sek. op 13° Din Agfa-film, met ⌀ 60 mm Kutterteleskoop (Volkssterrenwacht).

Rechts boven: 1/250 sek. op Ilford FP 3, met ⌀ 110 mm refractor (R. Briedé).

Links midden: Proefopname met ⌀ 110 mm Kutterteleskoop (Volkssterrenwacht).

Rechts midden: 1/50 sek. op Agfa IF, ⌀ 150 mm Newtonteleskoop (A. H. Kleijn).

Onder: *Mare Serenitatis* en *Mare Imbrium* op twee achtereenvolgende dagen, 1/10 sek. op Isopan Record met ⌀ 150 mm Newtonteleskoop. (A. v. d. Schoot).



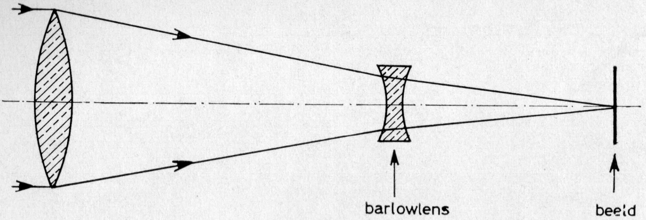


fig. 11

Teleskoopobjektief-barlowlens

Met een barlowlens kunnen we ook de effektieve brandpuntsafstand vergroten (zie Thieme's sterrenboek pag. 222). Natuurlijk zijn er nog meer lenskombinaties mogelijk, maar dit zijn de eenvoudigste en meestgebruikte.

5. Scherpstellen, volgen en belichten

Het filmvlak moet loodrecht op de optische as staan en in het brandvlak van het objektief.
We kunnen dit op een matglas, met de matte zijde op de plaats van het filmvlak zo goed mogelijk controleren.
Uiteindelijk moet de scherpstelling gecontroleerd worden met proefopnamen van sterrensporen. Belicht 3 minuten met de beste instelling die met behulp van het matglas gevonden is, daarna een onderbreking van 30 sekonden, vervolgens 2 minuten waarbij het filmvlak ca. 1 mm dichter bij het objektief komt, 30 sekonden onderbreking; tenslotte 1 minuut met het filmvlak ca. 1 mm verder van het objektief als de oorspronkelijke stand. Het is natuurlijk nodig de drie standen te fixeren, zodat we later deze standen kunnen terugvinden. De stand waarbij de sterrensporen het dunste zijn is het dichtste bij het brandvlak. Vanuit deze stand kunnen we eventueel het procédé herhalen maar nu met sprongetjes van een halve mm. Als het filmvlak niet loodrecht op de optische as staat, is dit ook duidelijk te zien. De sterrensporen zijn dan aan een kant scherper dan aan de andere. Een afname van scherpte aan de rand van het beeldveld is normaal. Meestal kunnen we dat opheffen door het objektief te diafragmeren. Bij het foto-

graferen van de maan en planeten, met een teleskoop met een grote brandpuntsafstand, kunnen we een *gedeelte* van het matglas helder maken door er een beetje olie op te wrijven. Dit kan dus ook als we een spiegelreflexkamera gebruiken achter de teleskoop. We stellen dan scherp op het luchtbeeld. Om te voorkomen dat we nu door het matglas heen kijken, dus scherpstellen op een beeld vóór of achter het matglas, is het goed in het centrum van het matglas een smalle strook niet met olie te bewerken. Bij het scherpstellen beoordelen we dan telkens de scherpte van het beeld op de strook èn ernaast. Het is verder van belang dat het oculair waarmee men scherpstelt een brandpuntsafstand in mm heeft, die gelijk is aan de helft van het diagrafmagetal. Is de kijker f/15 dan een oculair van $7\frac{1}{2}$ mm of kleiner.

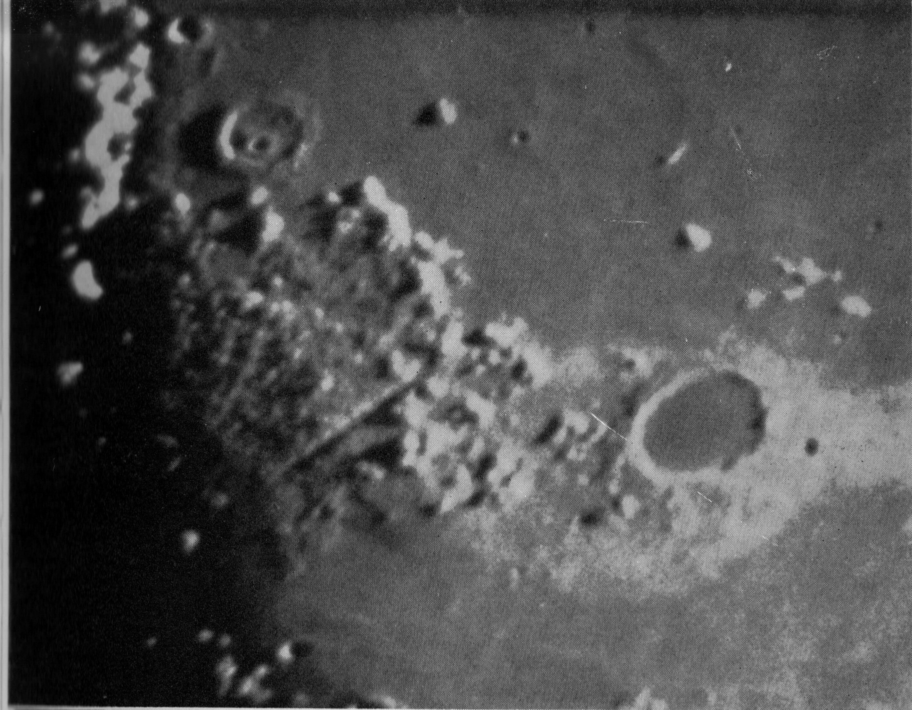
Met behulp van een volgkijker is het in principe mogelijk 15 minuten à een half uur te belichten zonder een aandrijving, ja zelfs als de teleskoop niet parallaktisch gemonteerd is. De volgkijker moet een ca. 10 maal zo lange effektieve brandpuntsafstand hebben als de effektieve brandpuntsafstand van het objektief waarmee we fotograferen. We kiezen een vrij heldere ster in het centrum van het gebied aan de hemel dat we willen fotograferen uit als volgster. Het oculair van de volgkijker moet kruisdraden in zijn brandvlak hebben, en het moet zo zijn dat we de maximale vergroting bij het objektief van de volgkijker krijgen.

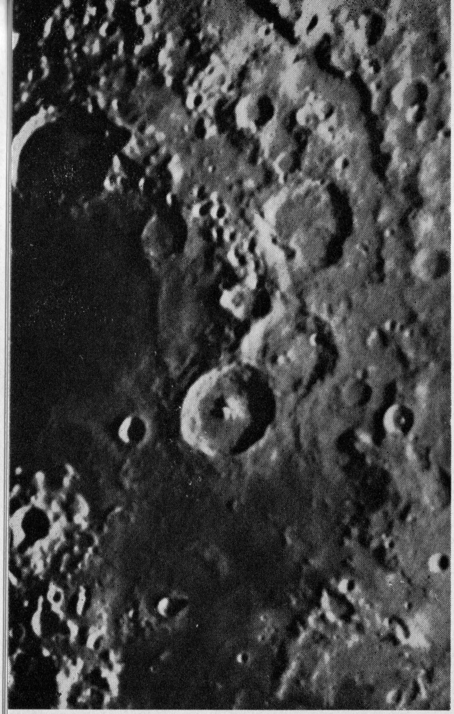
We stellen de volgster onscherp in, zodat we een klein schijfje i.p.v. een puntje zien. Dit schijfje brengen we naar het midden van het beeldveld, zodat we een deel der kruisdraden zien als twee loodrecht op elkaar staande middellijnen van het schijfje. Het is nu de kunst tijdens de belichting het schijfje t.o.v de kruisdraden niet te laten verschuiven. Als u moe wordt kunt u de belichting rustig onderbreken en wat later weer doorgaan. Met een wat nauwkeurig opgestelde parallaktische montering en een goede aandrijving kan men zich, bij niet te lange brandpuntsafstand van de kamera, beperken tot een controle om de minuut. Kleine verschuivingen van het schijfje t.o.v. de kruisdraden worden dan telkens met de hand gecorrigeerd.

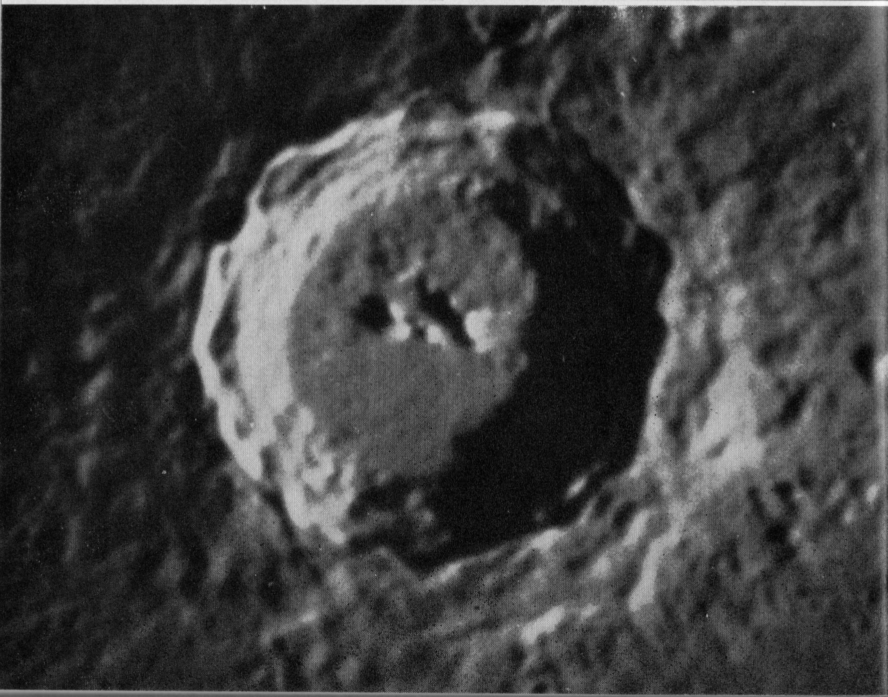
Als u zich moet behelpen met een volgkijker, waarvan de brandpuntsafstand kleiner is dan hierboven opgegeven, moet het volgen nauwkeuriger geschieden.

Voor korte belichtingstijden (tot enige sekonden) is het niet aan te bevelen het sluitermechanisme van een kamera te gebruiken bij kamera's met een gordijnsluiter, en zeker niet bij een spiegelreflexkamera, want zowel de sluiter als de terugklappende spiegel veroorzaken een schokje, waardoor de kijker gaat trillen. Wil men toch het sluitermechanisme gebruiken, dan moet de kijker zoveel verzwaard worden dat het schokje door de grote massa vrijwel ineens gedempt wordt.
U kunt echter beter als volgt te werk gaan; neem een groot stuk zwart geschilderd karton en houd dit voor het objektief, open de sluiter van de kamera voor een tijdopname. Geef nu het hele instrument even de tijd om uit te trillen. Daarna belicht u door het karton snel voor het objektief weg te halen en er weer voor te houden. Na enige oefening kunt u op deze wijze vrij nauwkeurig tot op 1/10 sekonde nauwkeurig belichten.
Voor lange belichtingstijden volgt u dezelfde methode, dit geeft dan helemaal geen moeilijkheden.

27, 28. *Alpendal* en *Plato*. Boven: 30 sek. op Panatomic-X. ϕ 250 mm Newton met oculairprojektie (H. G. Raddatz, U.S.A.). Onder: 1 sek. op Kodachrome-X. ϕ 300 mm. Newton met oculairprojektie tot *f*/60. (T. Osypowski en T. Pope, U.S.A.)







Hoofdstuk 5

Het fotograferen van de zon, de maan, de planeten, kometen, nevels en sterren.

De Maan

De maan is beslist het meest fotogenieke hemellichaam. De beginnende amateur zal argeloos zijn eerste maanfoto's maken. Misschien zelfs zo maar uit de hand, met de kamera los achter de teleskoop. En het resultaat is nog niet eens slecht (foto 21 t/m 26). Zelfs met een brilleglas als objectief plus een sterk geelfilter*) is er nog een heel acceptabel portret van de maan te maken. Pas als men gaat streven naar perfektie, naar het maximaal bereikbare met de gegeven apparatuur, blijkt dat de maan bijzonder moeilijk te fotograferen is. Foto 27 en 28 zijn beide genomen met een respektabele teleskoop. De terminator ligt bij foto 27 nog iets gunstiger en toch.... Nu is foto 28 niet slecht, maar 27 is véél beter.
Het is prettig te weten, dat we met een objektiefdiameter van 20 à 30 cm maanfoto's *kunnen* maken met dezelfde detailrijkdom als foto's genomen met de grootste professionele teleskopen. De luchtonrust stelt nl. zoals we in hoofdstuk 2 zagen, een onherroepelijke grens aan het scheidend vermogen. Met een teleskoop met een objektiefmiddellijn van 20 cm of kleiner is het mogelijk, bij goede seeïng, details te fotograferen die bij visueel waarnemen met dezelfde teleskoop nog juist voortdurend zichtbaar zijn. We zullen dadelijk zien, dat dan aan nogal wat voorwaarden volddaan moet woren.

Film en belichtingstijd. Vele succesvolle amateur-maanfotografen preferen een 17° Din film. Neemt men een gevoeliger

*) Bij het fotograferen van zon, maan of planeten met een lenzenkijker moet altijd een geelfilter gebruikt worden om de chromatische restaberratie weg te nemen.

29, 30, 31. Boven: *Theophilus* en *Copernicus*. $\frac{1}{2}$ sek. op Ilford Pan F. ϕ 300 mm Kutterteleskoop (A. Kutter, Duitsland).
Onder: *Copernicus*. (E. A. Harlan, U.S.A.)

film dan wordt de opname minder kontrastrijk, het scheidend vermogen minder en de korreligheid groter.*)
Met minder gevoelige film wordt de belichtingstijd te lang, zodat de luchtonrust en de onnauwkeurigheid in het volgen het uiteindelijke resultaat sterker ongunstig beïnvloeden.
Voor de belichtingstijden kunt u bij uw eerste proefopnamen het volgende aanhouden:
Bij f/8 moet u het eerste en laatste kwartier op een 17° Din film $^1/_{25}$ à $^1/_{50}$ sekonde belichten. Verder gelden globaal de volgende belichtingstijd-verhoudingen:

2 dagen oude maan	100	het asgrauwe schijnsel	10000
4 dagen oude maan	50	Bij verduisteringen:	
6 dagen oude maan	40	in de bijschaduw	50
eerste kwartier	25	in de rand v.d. kernschaduw	5000
10 dagen oude maan	12	in de kernschaduw	200000
volle maan	5		

Met behulp van deze gegevens kunt u uw belichtingstijden berekenen. Ze gelden zeer globaal voor het fotograferen van het hele maanbeeld, wat in het algemeen in het hoofdbrandpunt van de kijker gebeurt. De optimale belichtingstijd moet u echter proefondervindelijk bepalen: sommige details nabij de terminator geven een zwarting op de film die nog geen 4% is van die der helderste delen van de maan. Bij een gemiddelde belichtingstijd zult u dus een deel van de maan zwaar onderbelichten en een ander deel overbelichten. Ook het objekt dat u fotografeert speelt een rol; zo vraagt de Hyginus-rille een twee maal zo lange belichtingstijd als Clavius, als beide vlak bij de terminator liggen.

Maximaal resultaat. Door oculairprojektie moet de openingsverhouding op ca. f/50 gebracht worden. Dit betekent in het algemeen dat we belichtingstijden van rond de sekonde krijgen. Het volgmechanisme van de teleskoop kan dan niet meer de beweging van de sterren volgen: de teruglopende beweging van de maan is in één sekonde al zo groot, dat het scheidend

*) Dit doet afbreuk aan de detailrijkdom van de foto. Details, kleiner dan het scheidend vermogen, maar met een groot kontrastverschil met de omgeving kunnen nog gezien en gefotografeerd worden.

vermogen van 0,″5 onmogelijk gehaald kan worden. Nu is dit te verhelpen door een volgmechanisme met variabele snelheid Maar niet alleen de rechte klimming van de maan verandert voortdurend, ook de deklinatie.
De deklinatieverandering is in de loop van een maancyclus variabel. Gemiddeld bedraagt ze 0,″5 in 3 seconden. Wie dus de grens wil bereiken die door de aardatmosfeer en door de opening van zijn kijker gesteld is moet voor belichtingstijden rond de 3 sekonden ook een variabele aandrijving hebben op de declinatieas. Dit stelt hoge eisen aan het volgmechanisme en aan de kijkeropstelling. Is de opstelling niet goed uitgebalanceerd dan is soepel volgen onmogelijk. Is de opstelling niet stabiel en trillingsvrij dan hebben al onze verdere voorzorgen geen effekt. Bij een grote effektieve brandpuntsafstand (b.v. van ca. 10 meter) veroorzaken trillingen met een heel kleine amplitude grote verplaatsingen van het beeld op de film.
Het heeft natuurlijk geen zin bij onrustige lucht te fotograferen en ook niet als de maan laag aan de hemel staat, of als de teleskoop nog niet de temperatuur van de omgeving heeft aangenomen. En als u alle voorzorgen hebt genomen, zal er op een film van 36 opnamen, die u in een waarnemingsnacht maakt, misschien één zijn die dicht bij het maximaal haalbare ligt. Goede voorbeelden hiervan zijn 28, 32, 33, 35 en 36.

fig. 68 74 75 76 78

De afwerking. Het vergroten van maanopnamen is niet gemakkelijk, zeker niet van het hele maanbeeld omdat de contrastverschillen zo groot zijn. Als u uw negatieven in een fotohandel laat afwerken, komt er niets van terecht. Om een gelijkmatig kontrast vanaf de terminator tot de helderste delen te krijgen, moeten bepaalde gedeelten sterk tegengehouden worden en andere doorgedrukt. Een amateurfotograaf kan een aantal meer of minder omslachtige methoden gebruiken om zijn doel te bereiken en hij kan daar tijd aan besteden, de fotohandel niet, of.... u moet de tijd gaan betalen die de vakman nodig heeft om net zo lang met uw negatief te experimenteren, tot hij een vergroting heeft die u voldoet.
Enige jaren geleden is door Krug en Hess een eenvoudige methode ontwikkeld om vóór het vergroten de gewenste kontrastwijzigingen in het negatief aan te brengen. Het wordt

32, 33. Rillen bij *Triesnecker* en *Hyginus*. Links: $\frac{1}{2}$ sec. op Kodachrome-X. ϕ 300 mm. Newton met oculairprojektie tot *f*/60. (T. Osypowski en T. Pope, U.S.A.)
Rechts: $\frac{3}{4}$ sek. op Adox Kb 17. ϕ 300 mm Kutterteleskoop (A. Kutter. Duitsland).

gebruikt voor fotogrammetrische luchtfoto's en voor zover wij weten is het nog nooit op maanfoto's toegepast.
Het komt hierop neer, dat de sterk gezwarte gebieden chemisch blauw gekleurd worden en de zwak gezwarte geel. De sterk gezwarte partijen worden daardoor transparanter en de lichte partijen meer gedekt.
In de praktijk gaat het als volgt: in een bad dat $Fe_4\,[Fe(CN)_6]_3$ bevat (dit vrij normale blauwkleuringsbad is bv. te vinden in het ORWO receptenboek 711), wordt het zilver omgezet in een blauwe kleurstof en tegelijk worden de delen die het meeste blauwe kleurstof bevatten gelooid. Daarna wordt het negatief enige tijd behandeld in een bad van 1 gram tartrazin op 1000 cc fixeerbad. Hier worden de delen die het minste blauw bevatten het meest geel gekleurd.
Het blauw-geel-groene negatief dat we dan krijgen, is veel gemakkelijker te vergroten.
De beginner kan veel plezier beleven aan zijn eerste maanfoto's, en wie naar perfektie streeft zal zijn leven lang bezig kunnen zijn met het streven naar de opname van een of ander gebied op de maan, die nog juist iets beter is dan de beste die hij al maakte.

Venus, Jupiter, Mars, Saturnus

Het fotograferen van Venus, Jupiter, Mars en Saturnus is iets eenvoudiger wat betreft het volgen tijdens de opname. Gedurende de opname kan gewoon gevolgd worden zoals voor sterren. Van de andere kant is het beeld van deze planeten zo klein, en zijn de kontrasten op hun oppervlakte zo gering, dat alleen een uiterst zorgvuldig gemaakte opname details vertoont. De grootte van het beeld op het negatief in millimeters, bij verschillende brandpuntsafstanden, vindt u in de volgende tabel. Ter vergelijking is de grootte van het maanbeeld ook opgenomen. Voor de Maan gelden de afmetingen bij zijn gemiddelde afstand tot de aarde. Voor Venus: dicht bij benedenkonjunctie; voor Mars, Jupiter en Saturnus: bij hun kortste afstand tot de aarde.

34, 35. Boven: *Aridaeus-rille.* 1½ sec. op Tri-X. ⌀ 150 mm Cassegrain met oculairprojektie. (C. J. v. Enck) Onder: *Rechte Wand* in *Mare Nubium.* 1 sek. op Panatomic-X. ⌀ 300 mm Newton met oculairprojektie op *f*/64. (T. Osypowski en T. Pope, U.S.A.)

36. *Clavius.* 1 sek. op Panatomic-X. ϕ 300 mm Newton met oculairprojektie tot *f*/60. (T. Osypowski en T. Pope, U.S.A.)

37. *Asgrauw Schijnsel*, 3 min. op Superpan, $f/6$, $f = 900$ mm. (E. A. Harlan, U.S.A.)

Brandpuntsafstand	1 m	5 m	10 m	20 m
Maan	9	45	90	180
Venus	0,3	1,4	3	6
Mars	0,12	0,6	1,2	2,4
Jupiter	0,24	1,2	2,4	4,8
Saturnus	0,1	0,5	1	2
Ring van Saturnus	0,21	1	2,1	4,2

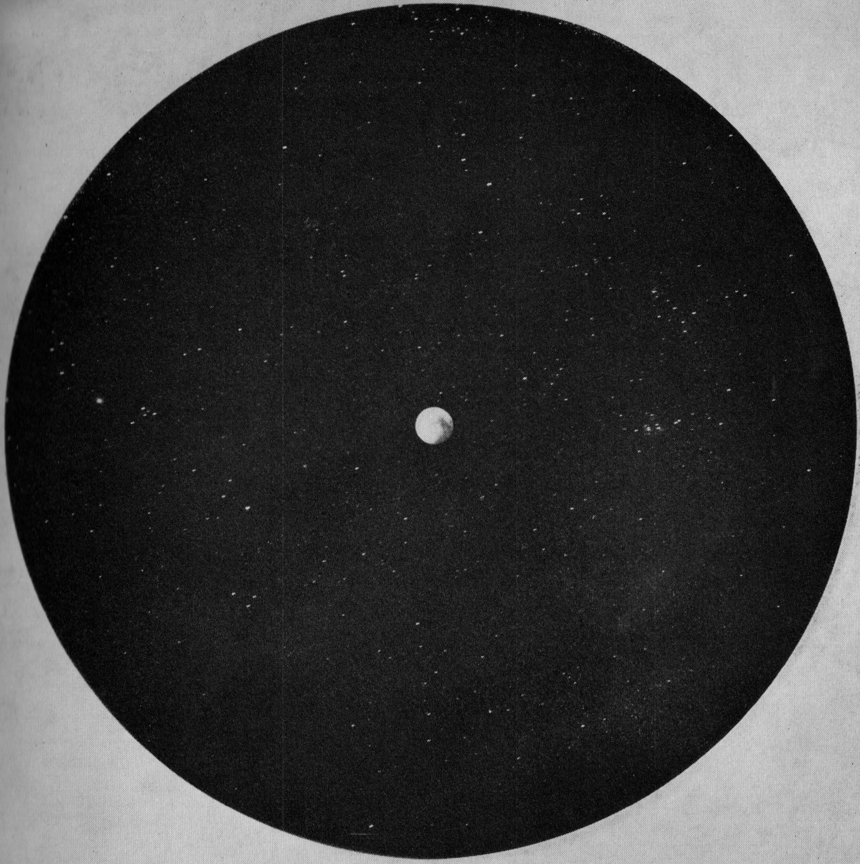
Een opname als 45, genomen met een stilstaande 11 cm Newtonteleskoop, belichtingstijd 1 sekonde, is natuurlijk al interessant. Foto's als 46 t/m 49 vragen geduld, zeer zorgvuldig werken en het op de koop toe nemen van een groot aantal mislukkingen. 87 87

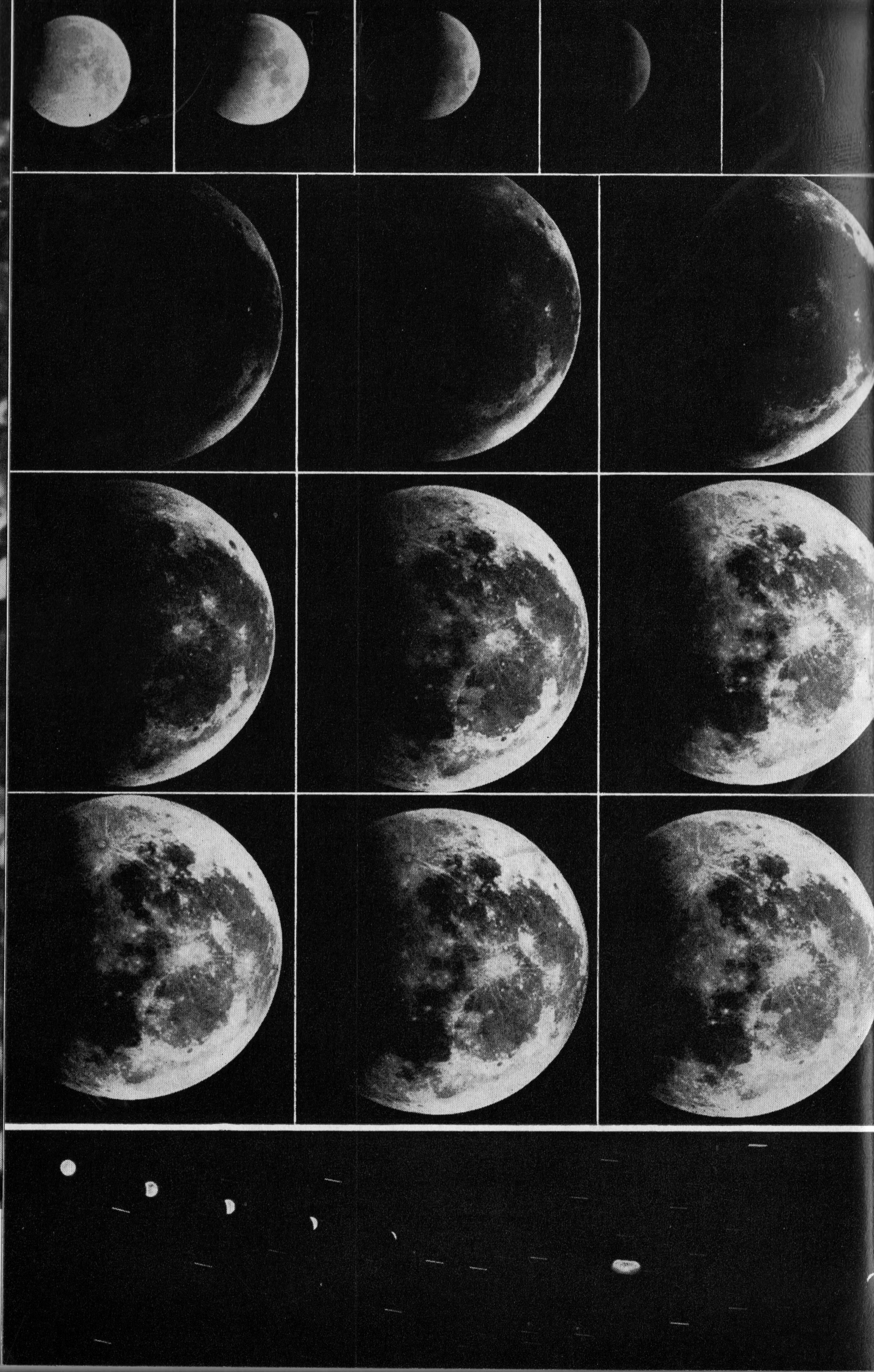
De verhoudingen van de belichtingstijden zijn:
Venus 0,5 Jupiter 40
Mars 8,5 Saturnus 100, waarbij we weer uitgaan van: eerste kwartier van de maan: 25.

De Zon

Opname 50 en 51 zijn in Londen door de amateur W. Baxter gemaakt, met een 10-cm lenzenkijker. De zonnevlekken zijn bijzonder detailrijk weergegeven en opname 50 toont zelfs de granulatie van het zonneoppervlak.
Als we de zon willen fotograferen krijgen we direct te maken met twee moeilijkheden: er is teveel licht en in de kijkerbuis een grote warmteontwikkeling. Met een zwaar filter voor het objektief zijn beide moeilijkheden meteen voor een groot deel opgelost. Maar grote filters van optisch vlak glas zijn duur. We kunnen natuurlijk een kleiner filter nemen voor het objektief en slechts een gedeelte van het objektief gebruiken. Dit vermindert natuurlijk het scheidend vermogen. Daarom plaatst men het filter meestal vlak vóór het oculair (niet achter het oculair, zoals bij visuele waarnemingen). Dit filter, een neutraal zeer donker filter, wordt nu echter sterk verhit door de erop gekoncentreerde zonnestralen.
Om zoveel mogelijk de daaruit voortkomende turbulentie van de lucht in de kijkerbuis, en zelfs het springen van het filter te voorkomen, is het zaak alleen bij het instellen en bij het belichten, licht door het objektief te laten vallen. Stel ook snel in of, als het niet lukken wil, met tussenpozen. Het afschermen van het objektief gebeurt eenvoudig door er een stukje zwart papier voor te hangen. Bij gebruik van een lenzenkijker, waarvan het objektief niet gecorrigeerd is voor fotografie moeten we behalve het neutrale filter ook nog een oranje- of een geelfilter gebruiken.
We gebruiken een laaggevoelige (kontrastrijke) film. Bv. films voor het kopiëren van dia's zoals Gevacopy.
Voor het fotograferen van het hele zonbeeld zullen we meestal in het primaire focus moeten fotograferen.

41, 42. Totaliteit *Maansverduistering.* Boven: 7 min. op HP3 met een Maksutov $f/2$, $f = 280$ mm op 25-6-'64. (G. Klaus, Zwitserland). Onder: 15 min. met stilstaande kleinbeeldkamera $f = 50$ mm, 19-12-'64. (Volkssterrenwacht).





Gaat het om de zonnevlekken, dan vergroten we de effektieve brandpuntsafstand met een barlowlens of door middel van oculairprojektie.
Belichtingstijden van 1/500 à 1/1000 sekonde zijn nodig om te zorgen dat de fijne details niet door de luchtonrust uitgewist worden. Kortere belichtingstijden zijn niet met behulp van normale sluiters te bereiken. Omdat echter de belichting voor fijn gedetailleerde opnamen vrij kritisch is, zullen we de lichthoeveelheid die op de film valt moeten regelen met neutrale filters, die we achter het vaste filter kunnen aanbrengen. Door een aantal proeven vinden we welke kombinatie de beste resultaten geeft. We moeten er rekening mee houden dat de helderheid van de zon sterk varieert met de hoogte van de zon boven de horizon en met de transparantie van de lucht. Het zal dus nodig zijn de supplementaire filters gemakkelijk verwisselbaar te maken.
Als de zonsrand „kookt" (men ziet hem dan sterk golven) is de atmosfeer zo turbulent dat het geen zin heeft de zon te fotograferen.
Het is vanzelfsprekend ook mogelijk het zonbeeld op een wit vlak te projekteren en dit te fotograferen. De belichtingstijd is dan met een gewone belichtingsmeter te bepalen. Als het niet gaat om de fijnste details in de zonnevlekken is deze methode veel eenvoudiger.

Bij een totale zonsverduistering kan men protuberansen en de zonnecorona fotograferen. We geven hiervoor de verhouding van de belichtingstijden, waarbij weer de belichtingstijd voor het eerste kwartier van de maan op 25 is gesteld:

protuberansen	10
binnencorona	20 tot 200
middencorona	600
buitencorona	5000

38, 39, 40. Boven: begin *Maansverduistering*. Met 250 mm telelens en 1,8 × convertor. 1/150 sek. tot 1/50 sek. op HP3. (C. Zondag). Midden: einde *Maansverduistering*. 1/250 sek. ϕ 110 mm refraktor. (R. Briedé).
Onder: fasen van een *Maansverduistering*, met 6 × 6 kamera $f = 75$ mm. 1/50 sek. bij $f/8$ op FP3, de totaliteit 2 min. bij $f/3{,}5$. (B. Broekman).

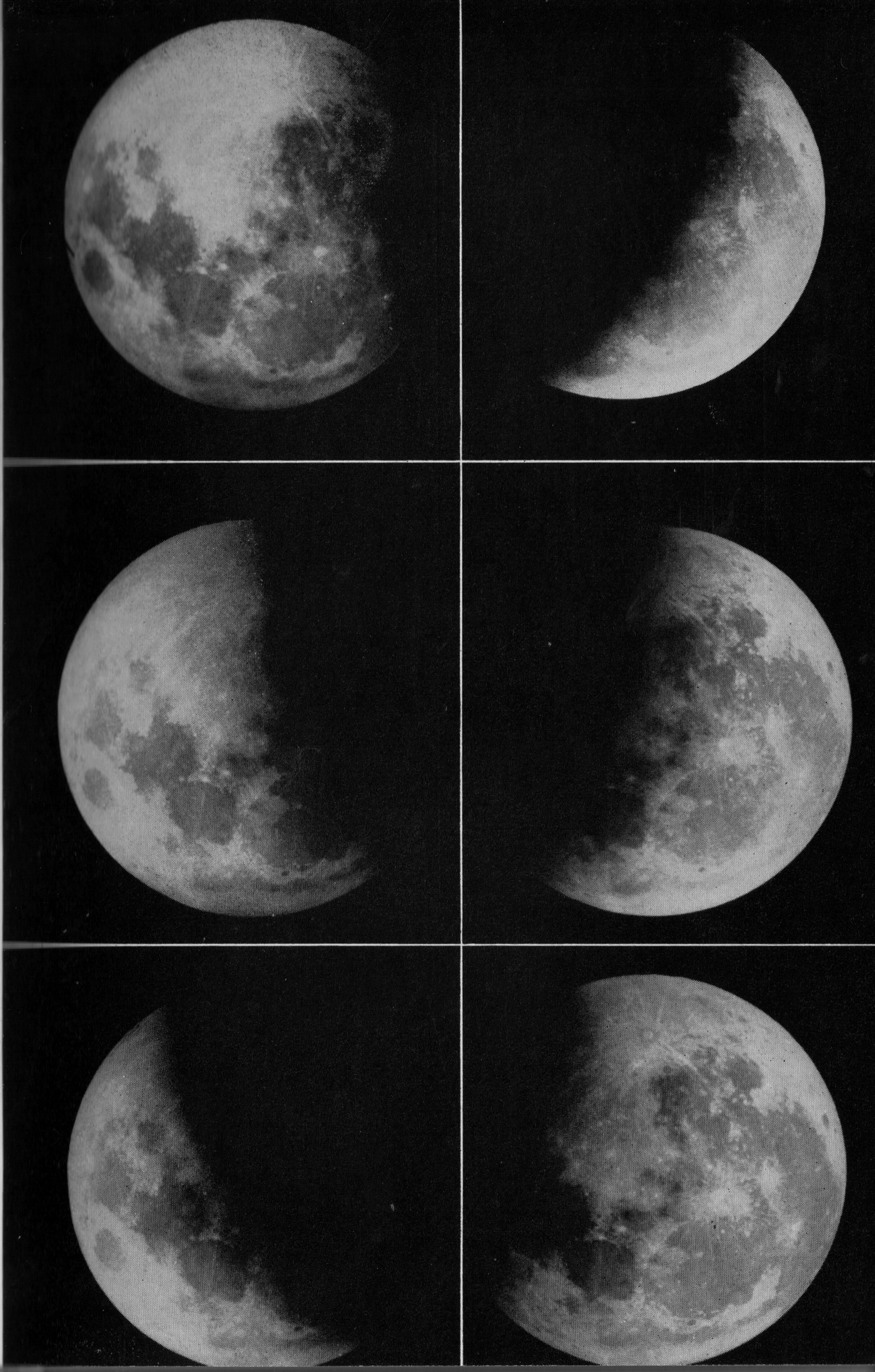
Het fotograferen van protuberansen met een protuberansenkijker, en de bouw van zo'n teleskoop is beschreven in Hemel en dampkring (1965 no. 10).
Foto 52 en 53 zijn door G. Klaus (Zwitserland) gemaakt met zijn zelfgebouwde protuberansenkijker.

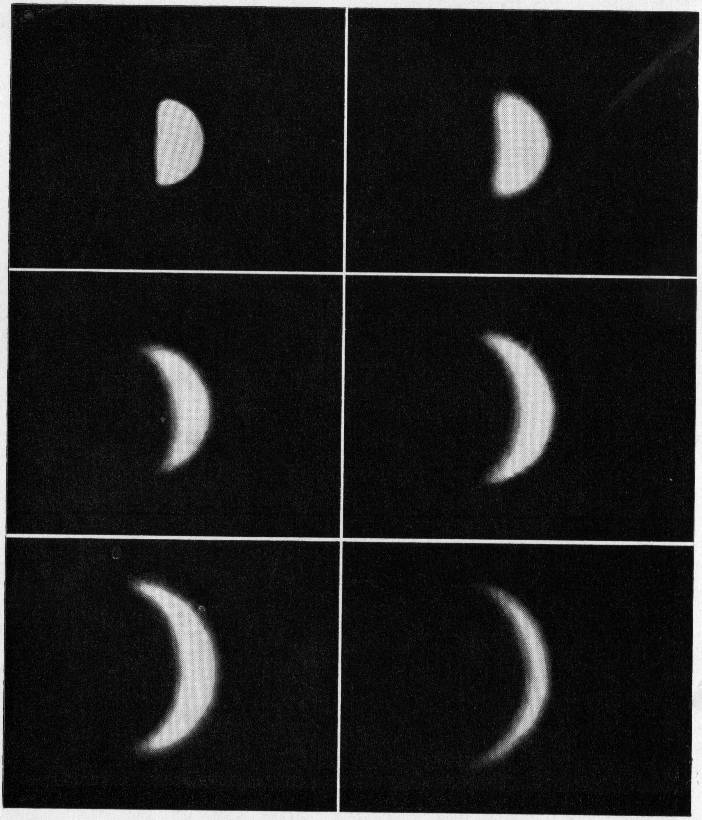
Sterren

Over het fotograferen van sterren is het belangrijkste al behandeld in hoofdstuk 2 en 3. Bij langere belichtingstijden (vanaf enige minuten) is het meestal noodzakelijk met behulp van een volgkijker te kontroleren of het beeld op dezelfde plaats blijft. Een niet goed uitgebalanceerde opstelling geeft bij automatisch volgen de vreemdste sporen op de plaat van onregelmatige zig-zag-figuurtjes tot sinusvormige lijntjes.
Het maken van een eigen fotografische sterrenatlas is een boeiend werkje. De filmsoort, de middellijn van het objektief en de belichtingstijd bepalen de grensmagnitude. We moeten er wel rekening mee houden dat zelfs onze panchromatische emulsies (bv. Tri-X) altijd nog minder gevoelig zijn voor rood dan voor de andere delen van het spektrum. Rode sterren zullen dus zwakker op de plaat verschijnen dan de sterrenatlas ze aangeeft. We kunnen werken met een eenvoudig boxje (opname 58), met een kleinbeeldkamera (59) of met echte astrokamera's (60 en 61).
Op een sterrenfoto-excursie van de Volkssterrenwacht Simon Stevin, fotografeerde een groep een sterrenatlasje met een 6 × 6 kamera met een f/3,5 objektiefje. Op een van de opnamen van het sterrenbeeld de Dolfijn, genomen in de nacht van 9 op 10 juli stond een sterretje van ongeveer de 5-de magnitude dat daar nog nooit gezien was. Een week later vonden we thuis bij de post een aankondiging van de Nova die Alcock in de Dolfijn ontdekt had op 8 juli 1967! We hadden die zelf kunnen ontdekken als we onze opnamen van dit gebied eerder gemaakt hadden en direkt nauwkeurig vergeleken hadden met de beschikbare sterrenkaarten! Als het dus zin heeft duizenden uren te besteden aan het visueel zoeken naar kometen, no-

---

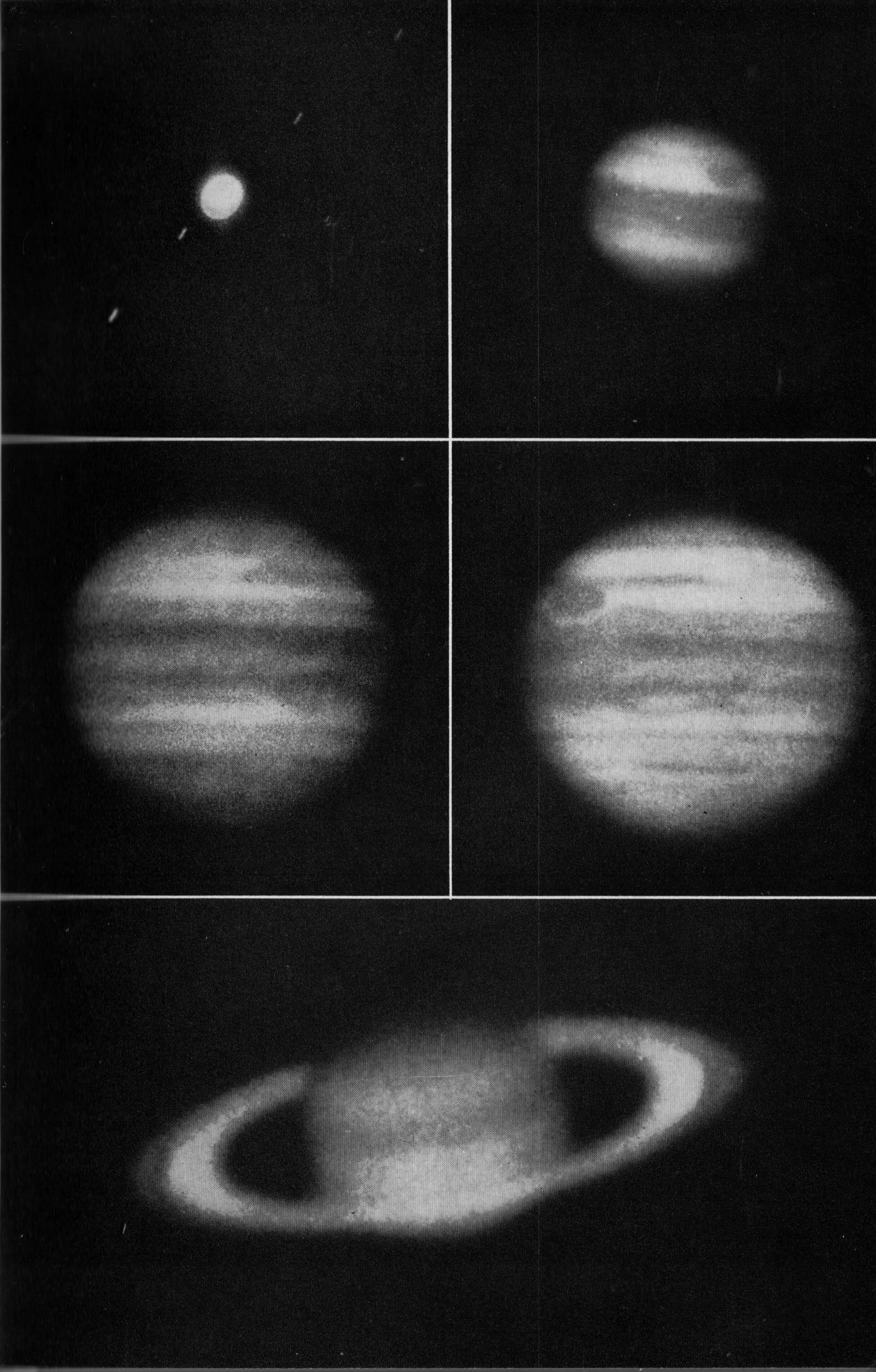
43. *Maansverduistering*, 19-12-'64. Met ⌀ 200 mm Newton bij *f*/8. Belichtingstijden eerste kolom: 1/150, 1/100, 1/50 sek. Tweede kolom 1/50, 1/100, 1/150 sek. (G. Heillegger.)

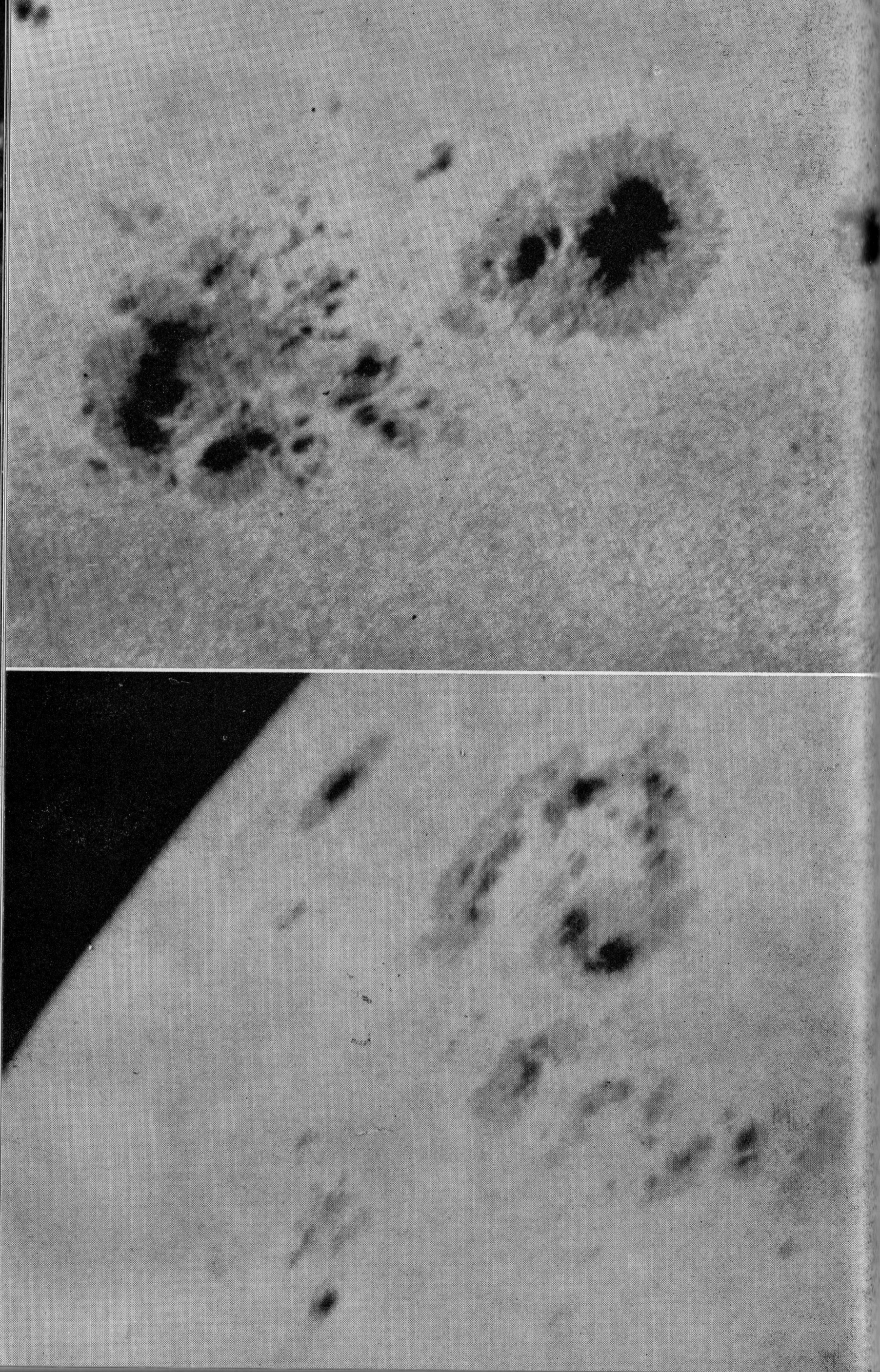




44. De fasen van *Venus*. ⌀ 250 mm Newton. (G. Heillegger.)

45 t/m 49. *Jupiter* en *Saturnus*. Boven links: 1 sek. op Ilford FP 3. ⌀ 110 mm reflector (R. Briedé). Boven rechts: 3 sek. ⌀ 250 cm Newton. (H. G. Raddatz, U.S.A.). Midden links en rechts: 1 sek. op Adox KB 14. ⌀ 300 mm Newton met oculairprojektie tot *f*/90. (T. Osypowski en T. Pope, U.S.A.)
Onder: 4 sek. op Panatomic-X. ⌀ 300 mm Newton met oculairprojektie tot *f*/90. (T. Osypowski en T. Pope, U.S.A.)





va's en supernova's, dan kan men dit met bescheiden middelen ook fotografisch doen.
Optiek met wat grotere brandpuntsafstand gebruiken we als we detailrijkere opnamen van bepaalde gebieden wensen (95, 101, en 102). Bolvormige sterrenhopen kunnen alleen in sterren opgelost worden, als we ons teleskoopobjektief als kamera-objektief gebruiken. (103 t/m 106.)

Nevelachtige objekten

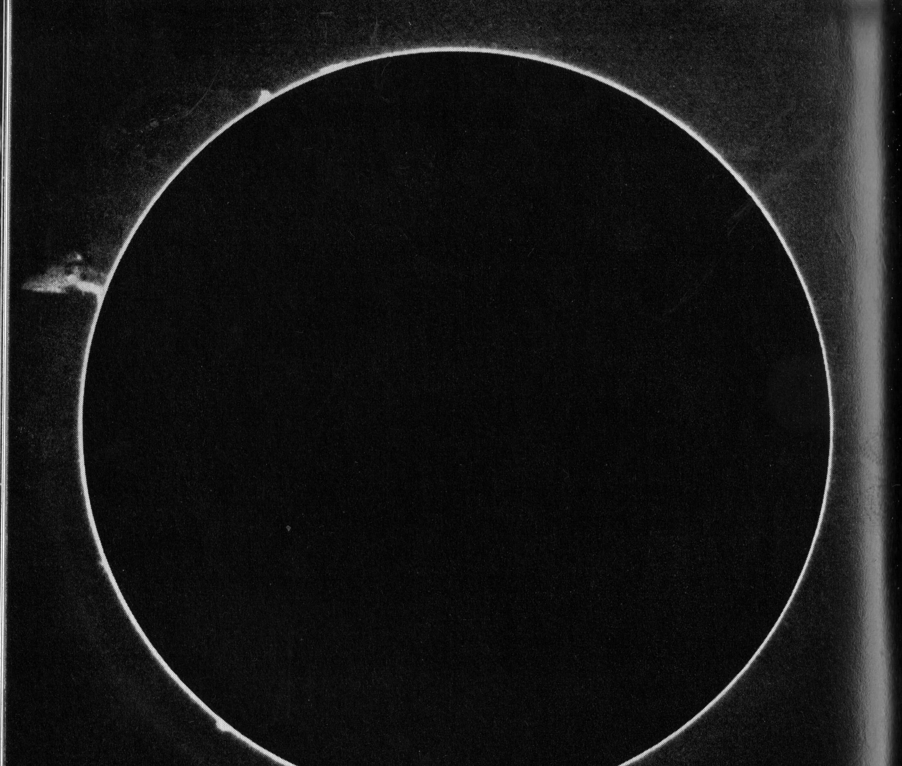
Hieronder vallen zowel galaktische nevels en kometen als extra-galaktische nevels. Wil men ze enigszins detailrijk fotograferen, dan is niet alleen lichtsterke optiek maar ook een niet al te kleine brandpuntsafstand nodig. Schmidt- en Maksutov-kamera's zijn hiervoor het meest geschikt. Een belangrijk aantal van de hier gereproduceerde foto's is dan ook met zulke speciale kamera's opgenomen. Als het niet gaat om een groot beeldveld zijn echter ook lichtsterke Newtonteleskopen (tussen f/5 en f/8) zeer goed te gebruiken. De bijschriften bij de opnamen geven u een beeld van wat met bepaalde optiek te bereiken is.
Kometen kan men fotograferen met stilstaande kamera, zie 62 en 63 en het prachtige beeldverhaal (64 t/m 67) van de komeet Arend-Roland, gefotografeerd door Robert Phildius in Zwitserland. Als de komeet langzaam beweegt kan men gewoon volgen op de sterren (68 en 70) bij een sneller bewegende komeet kan men beter de kop van de komeet in het snijpunt van de kruisdraden houden om dat anders het fijnste detail in de staart van de komeet uitgewist wordt (69).

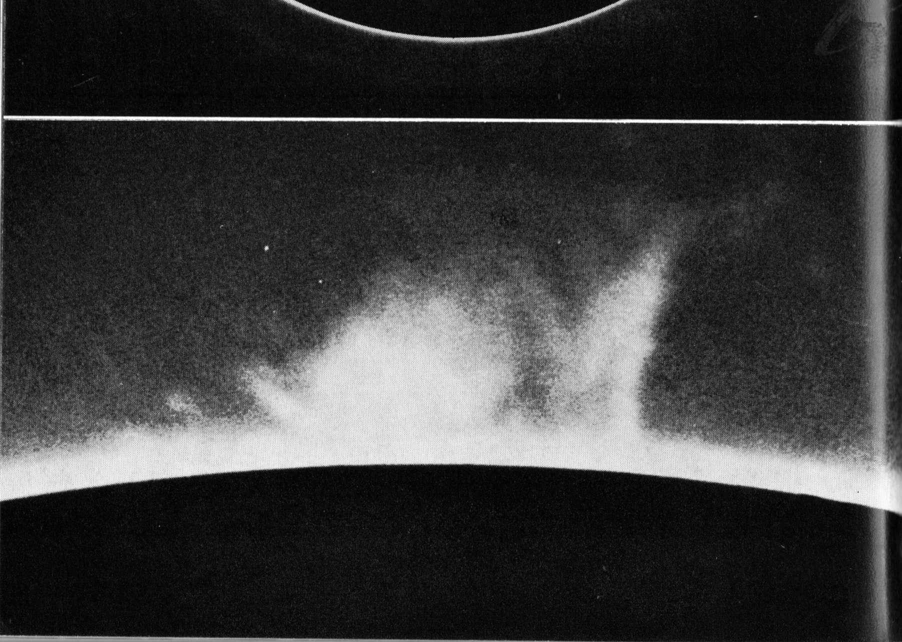
50, 51. *Zonnevlekken* genomen met een ϕ 100 mm refraktor (W. M. Baxter, Engeland).

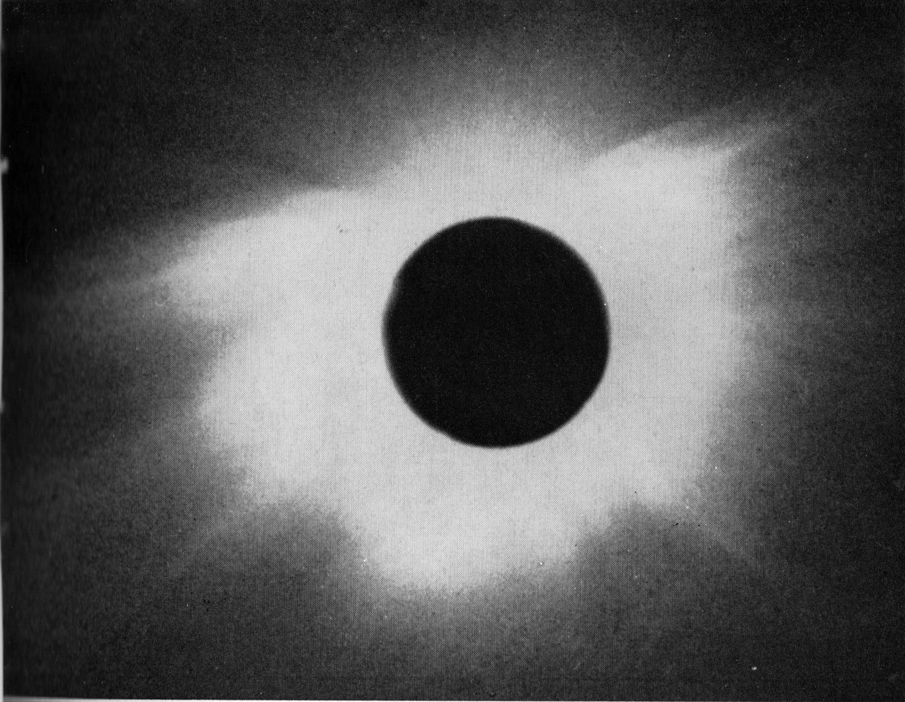
Op de volgende bladzijden:

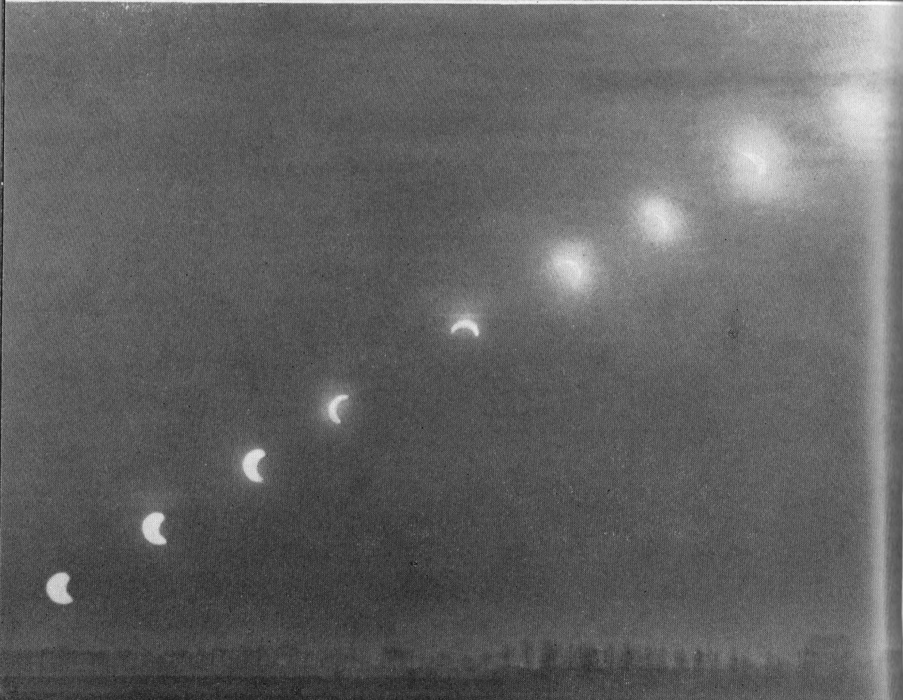
52, 53. *Protuberansen* genomen met een ϕ 80 mm-protuberansenkijker (G. Klaus, Zwitserland). ▶

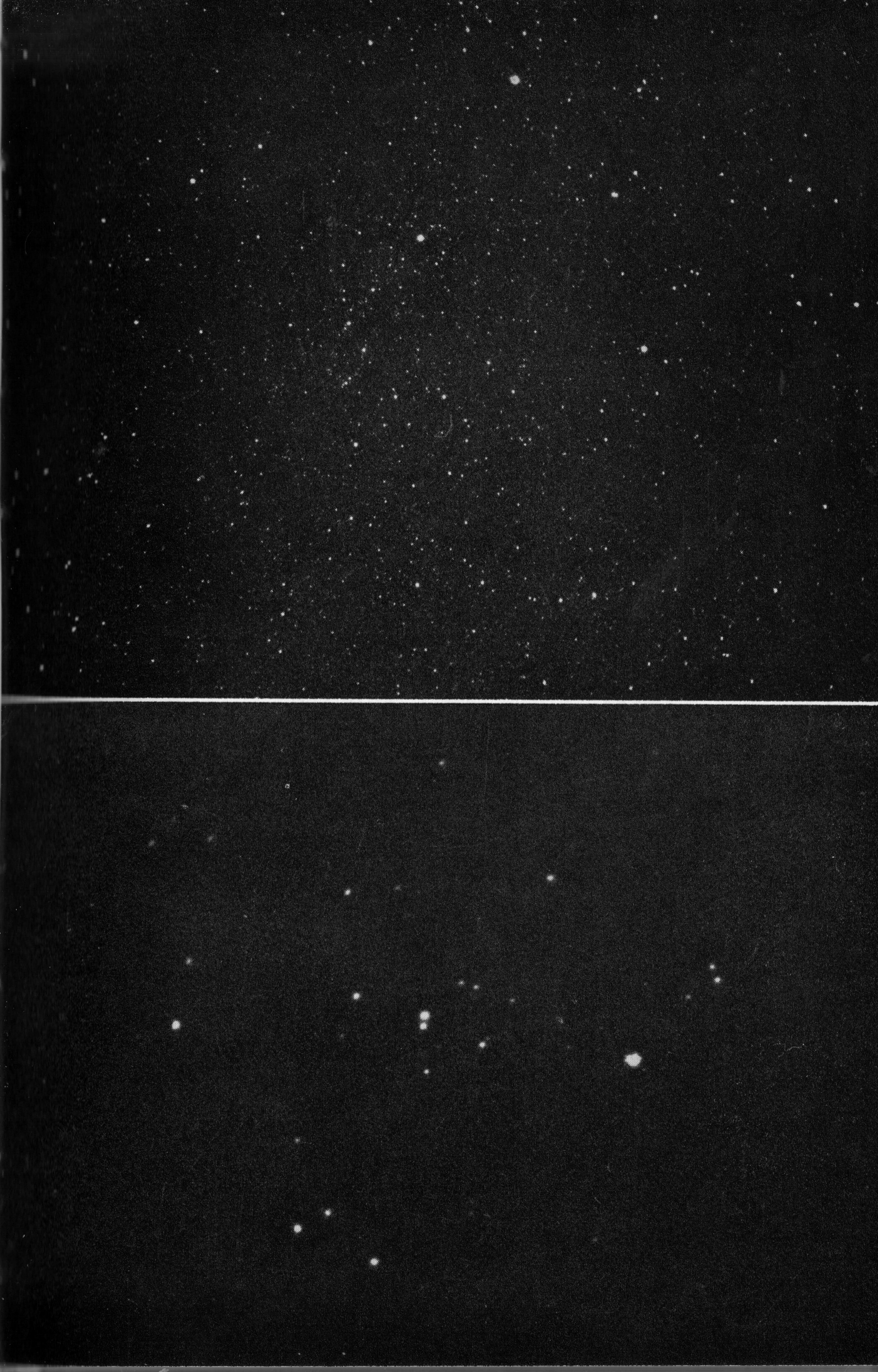
54, 55. *Zonsverduistering*, 15-2-'61. Boven: op Ektachrome met ϕ 50 mm Petzvalobjektief, $f = 350$ mm. (A. Küng, Zwitserland)
Onder: 10 opnamen om de 10 minuten, 1/200 sek. op Agfa 13° Din bij $f/22$, $f = 5$ cm. (A. v. d. Linden.)

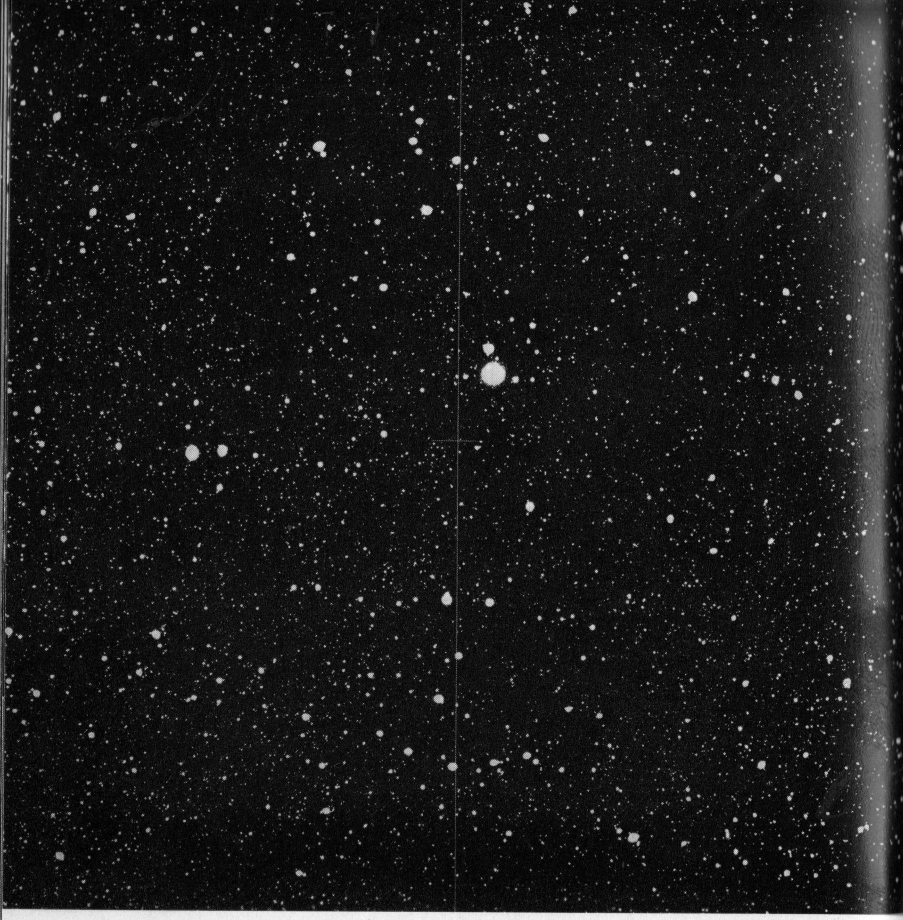










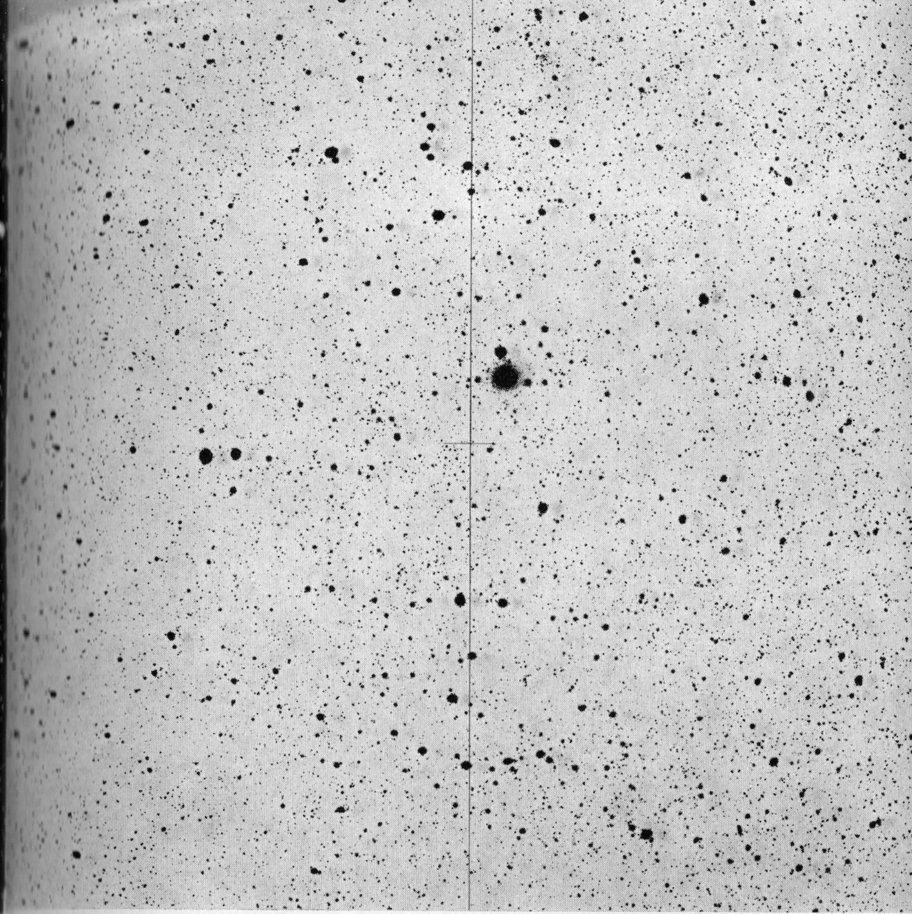


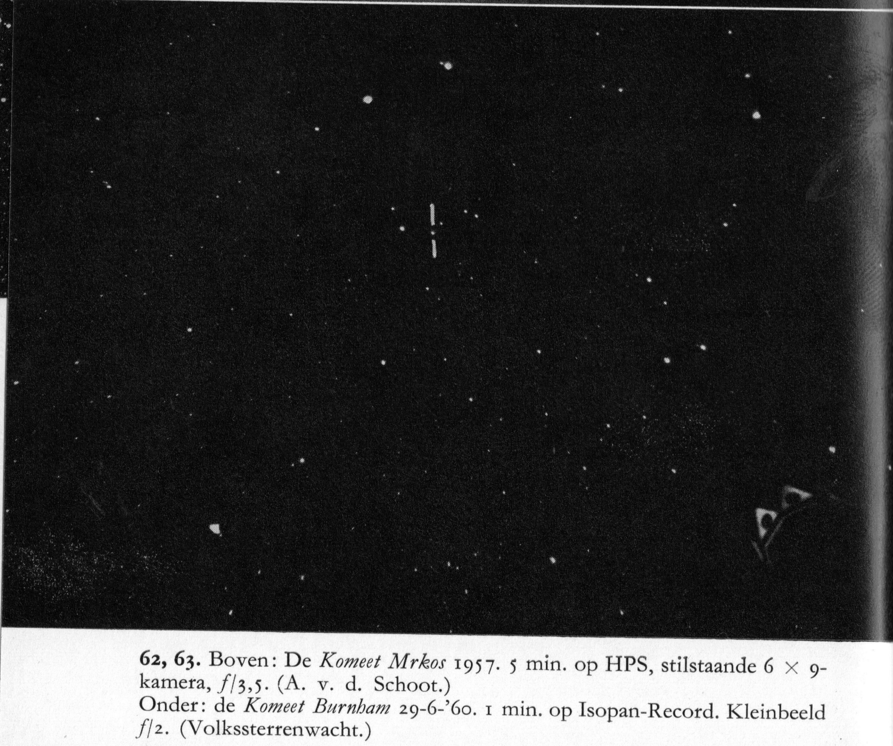
60, 61. *Poolster*, 30 min. op Perutz „Astro", *f*/3,5, *f* = 250 mm. (Hans Vehrenberg.)

Op voorgaande bladzijden:

56, 57. *Zonsverduistering*, 15-2-'61. Boven: kleinbeeld *f* = 5 cm. Onder: 9 opnamen op 6 × 6. 1/300 sek. op Kodak Verichrome bij *f*/11 (M. Janssens).

58, 59. *Hyaden*, 15 min. op Isopan Record met een box: *f*/15, *f* = 105 mm (J. Degewij). Melkweg in de *Zwaan*, 7,5 min. op HPS. *f*/2,8, *f* = 45 mm (F. Naber).





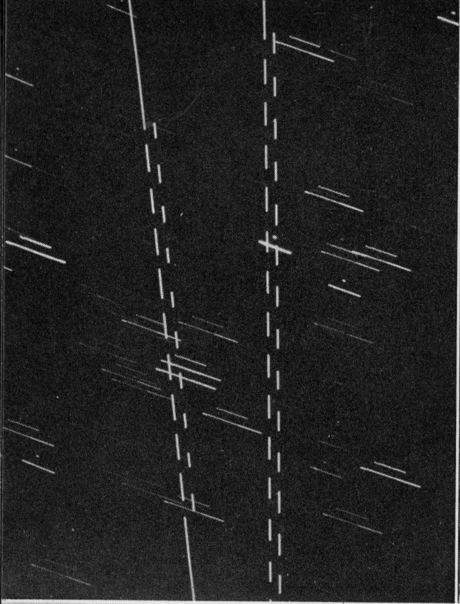
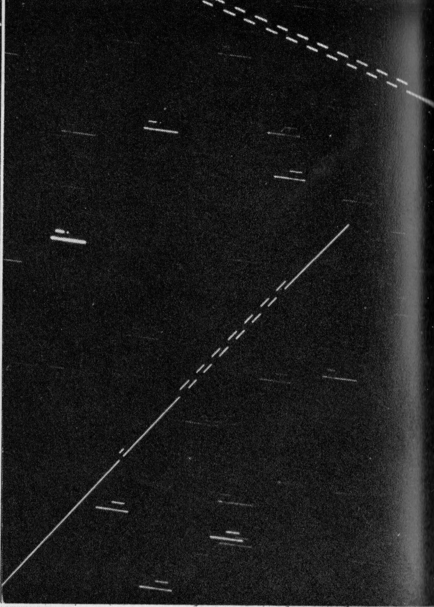
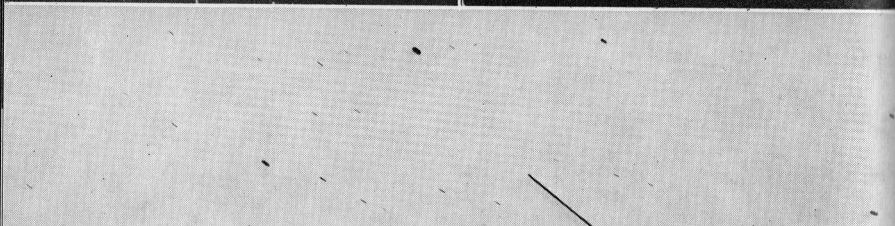
62, 63. Boven: De *Komeet Mrkos* 1957. 5 min. op HPS, stilstaande 6 × 9-kamera, *f*/3,5. (A. v. d. Schoot.)
Onder: de *Komeet Burnham* 29-6-'60. 1 min. op Isopan-Record. Kleinbeeld *f*/2. (Volkssterrenwacht.)

◀ **64 t/m 67.** De *Komeet Arend-Roland* 27 t/m 30-4-'57. 50 sek. op kleinbeeld, *f*/1,5. (R. Phildius, Zwitserland.)

68, 69. Boven: de *Komeet Arend-Roland*, 30-4-'57. 15 min. op Isopan Ultra. Kleinbeeld *f*/2,8. (Tj. de Vries.)
Onder: de *Komeet Seki Lines*, 15 min. op Super Pan. (E. A. Harlan, U.S.A.)

70. De *Komeet Alcock* 20-5-'63. 20 min. op HP3. Maksutov $f/2, f = 28$ cm. (G. Klaus, Zwitserland.)

71. M 51, 75 minuten op HPS. Schmidt-kamera 300/450/1010 (H. Vehrenberg, Duitsland). Tijdens de opname kwamen Cosmos 103 (onderbroken lichtspoor) en Cosmos 106 in het veld van de kamera.

72, 73, 74. Boven: twee dubbelopnamen op dezelfde plaat, links: Echo 2 in *Auriga* en in *Taurus*, **rechts** Echo 1 in *Vulpecula* en Echo 2 in *Aquila*. (B. Vastenholt.) Onder: *Echo* 1 in *Taurus* 40 sek. op Super Anschocrome. Kleinbeeld *f*/2,8. (P. Beeftink.)

Hoofdstuk 6

Het fotograferen van kunstmanen

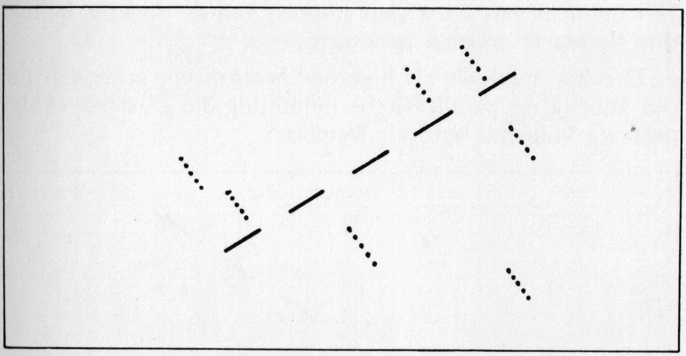
J. Lantwaard

1. Methoden van fotograferen

Met behulp van een kamera kunnen kunstmanen worden waargenomen. Van de sterren, die mee gefotografeerd worden, zijn de posities precies bekend. Om de coördinaten van de kunstmaan tussen de sterren te bepalen moet het lichtspoor worden onderbroken en de tijd waarop het lichtspoor werd onderbroken worden vastgelegd.

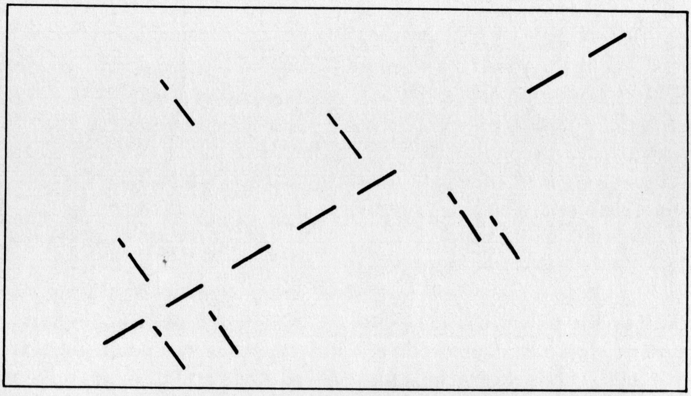
Verschillende methoden van positie- en tijdbepaling worden hier in het kort besproken.

a. De kamera kan vast opgesteld zijn, waarbij de sluiter van de kamera periodiek geopend en gesloten wordt op bekende tijden. Men kan daartoe de sekondenpippen van een tijdzender via een relais koppelen met de sluiter, zodat deze telkens 1 sek. open en 1 sek. dicht is. Men verkrijgt dan de volgende foto:



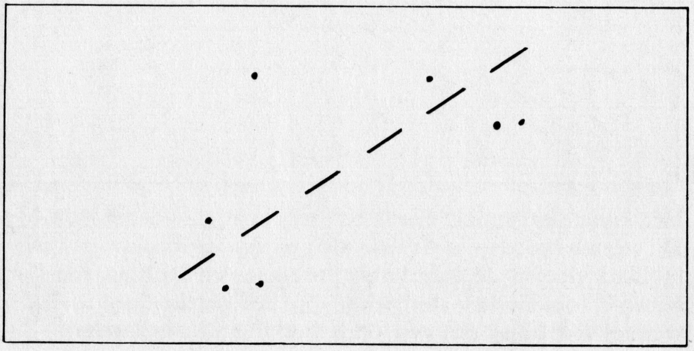
Het kunstmaanspoor wordt een regelmatig onderbroken lijn. De sterren worden in theorie als puntjes afgebeeld. In werkelijkheid vloeien de sterpuntjes in elkaar en worden een kort streepje, omdat het sterbeeldje op het negatief in 1 sek. te weinig verplaatst om een onderbreking te constateren.

Aan het eind van de opname maakt men daarom een langere onderbreking van ± 5 sek. om ook een goede onderbreking in het sterspoor te verkrijgen. Dit geeft tevens een indikatie van de richting waarin de sterren en de kunstmaan zich verplaatsen op het negatief.



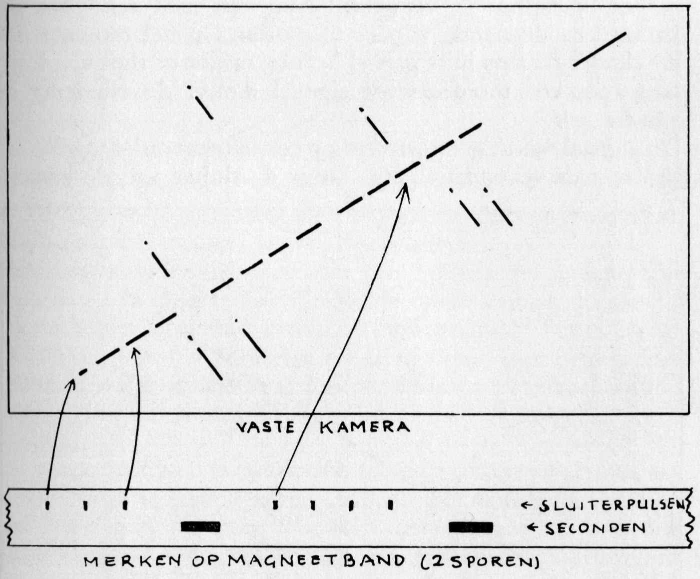
De tijden van de begin- en eindpunten van de korte streepjes van het kunstmaanspoor zijn bekend, nl. steeds hele sekonden. Het moment van starten en stoppen van de opname behoeft dus slechts te worden genoteerd.

b. Dezelfde methode als hiervoor beschreven, maar dan met een kamera op parallaktische montering die de sterren volgt, geeft de volgende foto als resultaat:

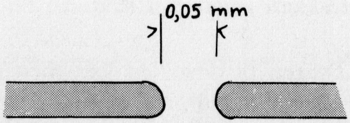


Men behoeft geen langere onderbreking in het lichtspoor van de kunstmaan aan te brengen, omdat de sterren als punten verschijnen.
Het bezwaar van voorgaande methoden is, dat de sekondepulsen door fading wel eens wegvallen en het sluiterrelais niet aantrekt. Omgekeerd kan een stoorpuls het relais ongewenst aantrekken zodat een foutieve onderbreking ontstaat.

c. Om deze bezwaren te omzeilen kan men de sluiter onafhankelijk van de sekondenpippen laten open- en dichtgaan. De tijd waarop dit gebeurt moet dan worden geregistreerd op een chronograaf of een dubbelspoorbandrecorder. Tegelijkertijd worden de sekondenpippen op het andere spoor gezet, zodat men later de sluiter-momenten kan uitmeten tussen de sekondenpippen. Om het oriënteren tussen tijdband en kunstmaanspoor op de foto makkelijk te maken kan men het kunstmaanspoor in een bepaalde code met de sluiter onderbreken. De markering van de sluiter-openingstijden op de band verschijnt dan in dezelfde code.



Ook hier weer op het einde van het spoor een langere onderbreking om in het sterspoor een puntje te krijgen, om later beter te kunnen uitmeten. De onderbrekingen, dus tijden dat de sluiter dicht is, moeten kort zijn om beter te kunnen uitmeten. In principe moet de onderbreking er vergroot aldus uitzien:

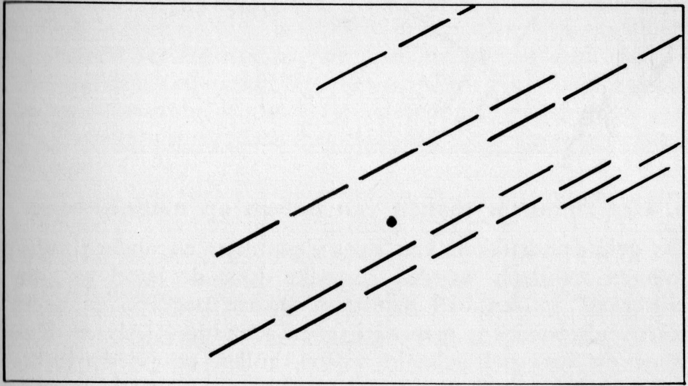


Om de sluittijden met behulp van een bandrecorder op de band te kunnen zetten moet men gebruik maken van een toonfrekwent signaal van bijv. 1000 Hz, dat via een sluitkontakt (flitskontakt) op de band gezet wordt. Dit alles te beschrijven zou te ver voeren. Het beste kan men een bevriende radio-amateur in de arm nemen om deze problemen op te lossen.

d. Als de sluiter niet snel genoeg is om de korte onderbreking in het lichtspoor te verwezenlijken, kan men een voor de kameralens draaiende vlinder toepassen. Op het moment dat de vlinder de lens juist geheel bedekt, maakt of sluit een kontakt voor een toonfrekwent signaal d.m.v. de vlinderas of vlinder zelf.
Dit signaal wordt geregistreerd op een bandrecorder tegelijkertijd met de sekondenpippen. Door de sluiter van de kamera

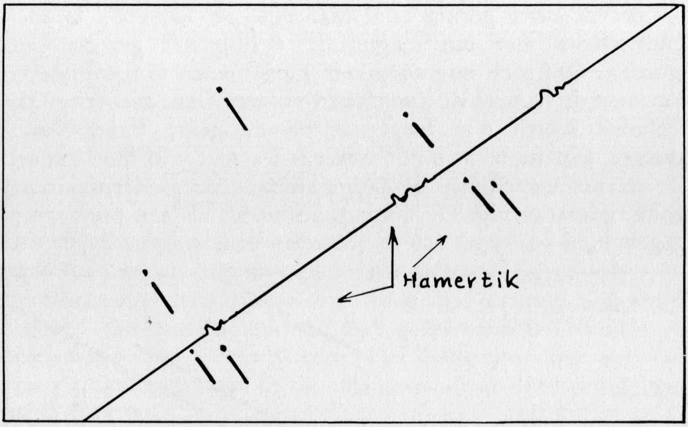
bij draaiende vlinder in code te openen en te sluiten kan men weer een lichtspoor in code verkrijgen.

e. Doordat de kunstmaan snel beweegt zullen de lichtindrukken op het negatief gering zijn. Met gewone kamera's kunnen kunstmanen met een magnitude 3 nog net geregistreerd worden. Om toch nog zwakkere kunstmanen te fotograferen laat men de kamera de kunstmaan volgen. Deze zeer moeilijke techniek wordt o.a. toegepast bij de grote Baker-Nunn-kamera, een super-Schmidt systeem f/1 met 500 mm spiegel. De sterren verschijnen als lange strepen met onderbrekingen voor tijdmarkering. De kunstmaan wordt als een punt weergegeven.



f. De eenvoudigste methode, uitgedacht door een amateur kunstmaanwaarnemer, is wel de volgende:
De kamera stelt men zeer vast op. Tijdens de opname tikt men met een klein metalen hamertje op de kamera, loodrecht op de bewegingsrichting van de kunstmaan op het negatief. De tikken van het hamertje registreert men met behulp van een mikrofoon op een bandrecorder tesamen met de sekondenpippen van een tijdzender. Dan krijgt men de volgende foto, (z.o.z.).
Men moet voldoende tijd nemen tussen 2 tikken om de kamera gelegenheid te geven uit te trillen. De nauwkeurigheid is iets beter dan die voor visuele waarnemingen kan worden gehaald, zodat men met behulp van deze methode een groot

aantal waarnemingen van heldere kunstmanen als visuele waarneming kan versturen.



2. Het zichtbaar maken van pulsen op magneetband

De geluidsindrukken van sekondenpulsen en andere pulsen kunnen zichtbaar worden gemaakt door de band te „ontwikkelen" in een bad met tetra waarin per 100 cc 1 cm^3 ferroxcubepoeder is gemengd (goed schudden). Als de band door dit mengsel gehaald wordt, zullen de poederdeeltjes achter blijven op de gemagnetiseerde plaatsen op de band en worden de pulsen zichtbaar. De tetra verdampt vlug. Men kan deze registratie ook fixeren door cellotape op de band te plakken en er weer af te trekken — het poeder kleeft nu aan het cellotape — en op wit papier te plakken. Door een rol te gebruiken waarop men de magneetband windt, kan men na het „ontwikkelen" een vel boeklon (cellotape per vel) om de rol plakken en er daarna weer aftrekken en op wit papier plakken. Zo verkrijgt men veel registraties op een handzaam formaat.

3. De kamera

Het is zonder meer duidelijk dat de objektiefdiameter (D) van

de kamera zo groot mogelijk moet zijn om nog sporen van zwakke kunstmanen te kunnen fotograferen. De grensmagnitude voor kunstmanen is natuurlijk veel kleiner als voor sterren, omdat het beeld van de kunstmaan zich over de fotografische plaat verplaatst (behalve bij de onder *e* genoemde methode).

Een methode om de grensmagnitude van een kamera te bepalen is de volgende:

Richt de kamera op een sterrenrijk gebied, en laat de kamera met een hoeksnelheid welke met die van satellieten te vergelijken is, bewegen. Dit kan met de meest eenvoudige proefopstelling gebeuren. De sterren verschijnen dan als lijntjes op de plaat. De magnitude van de sterren, met nog net te onderscheiden sporen, dienen dan in een atlas of sterkatalogus opgezocht te worden, en geven zo de grensmagnitude.

De brandpuntsafstand mag niet te klein zijn, omdat anders de nauwkeurigheid van het uitmeten niet groot genoeg is. Op normaal fotografisch materiaal kan 0,01 mm nog gemeten worden.

Voor een lens met f = 200 mm geeft dit een uitmeetnauwkeurigheid van 10 boogsekonden en voor f = 100 mm ongeveer 20 boogsekonden enz.

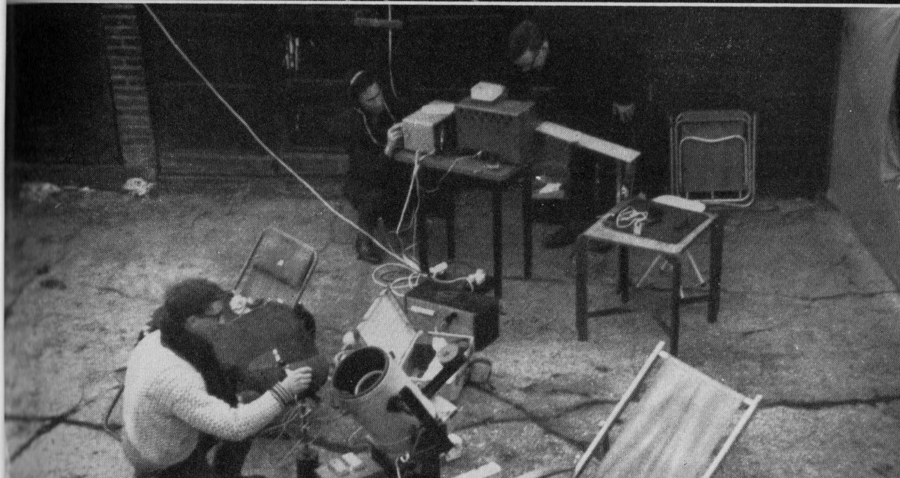
Met het groter worden van de schaal bij vergroting van de brandpuntsafstand, wordt het satellietspoor evenredig langer, terwijl de zwarting op het negatief hierdoor evenredig minder wordt. Met andere woorden: een satelliet dient helderder te zijn om nog gefotografeerd te worden.

Naast de positie van een kunstmaan moet het moment waarop die bepaling is gedaan bekend zijn. In het spoor van de satelliet op de plaat moeten dus tijdmarkeringen aangebracht worden.

Het sluitersysteem moet een zodanige snelheid en nauwkeurigheid hebben dat de nauwkeurigheid in tijdbepaling van dezelfde orde is als die in de positiebepaling.

Wanneer bv. de satelliet op de plaat 2 mm/sek. aflegt, en de maximale uitmeetnauwkeurigheid is 0,01 mm, wil dat dus zeggen dat de tijd op 0,005 sekonden bepaald kan worden. Wanneer een kunstmaan hoger is en dus een kleinere schijnbare hoeksnelheid heeft, van bv. 0,2 mm/sek. is reeds een tijdnauwkeurigheid van 0,05 sek. voldoende. De plaats in de

ruimte van deze kunstmaan is dan natuurlijk wel een faktor 10 onnauwkeuriger. Om dezelfde nauwkeurigheid te bereiken zou een 10 × grotere brandpuntsafstand noodzakelijk zijn. Wat de brandpuntsafstand betreft komen we zo tot de konklusie, dat deze niet kleiner dan 150 mm mag zijn, en niet groter dan 500 mm, omdat in dit laatste geval de mechanische problemen te groot worden.



75, 76. Boven: *Perseïde* in *Cassiopeia*. 13-8-'61, 6 × 6 kamera $f/4,5$, $f = 75$ mm. (H. ten Haaf.)
Onder: Instrumentarium tijdens een meteoren-kampanje.

Hoofdstuk 7

Meteorenfotografie

J. Degewij

Dit hoofdstuk vertelt u, hoe u een kamera kunt gebruiken, voor het vastleggen van de flitsen aan de hemel, die men meteoren noemt.
Wat zijn meteoren? In deel I van Thiemes Sterrenboek vindt u dit behandeld in het hoofdstuk van Dr. J. van Diggelen. Misschien is het nuttig er toch nog iets van te vertellen. In ons zonnestelsel komen brokken materie voor die in grootte variëren van enkele mm tot honderden meters in diameter. Deze brokken bewegen zich veelal in zwermen om de zon. Zodra de aarde in zijn loop om de zon zo'n zwerm ontmoet, komt de materie (overwegend kleine korreltjes tot stofjes) met zeer grote snelheid (20-70 km/sekonde) in de dampkring. De brokken materie (meteoroïden) worden daardoor omgeven door een geïoniseerde gaswolk, welke licht uitstraalt. Nadat ze enkele tientallen kilometers in de dampkring afgelegd hebben, zijn de meeste meteoroïden opgebrand. Het lichtverschijnsel dat meteoor genoemd wordt, is dan dus voorbij. We kunnen ons de volgende vragen stellen:
Waar komen de meteoroïden vandaan? Wat voor samenstelling hebben zij? Wat gebeurt er tijdens het proces van lichtgeven in de dampkring?
Deze problemen kunnen alleen door intensief waarnemen, en door de juiste interpretatie van deze waarnemingen, opgelost worden. Statistische waarnemingen van meteoren, waarbij het dus zowel om het vaststellen van het aantal meteoren per tijdseenheid gaat, als om het klassificeren van bepaalde meteoren bij bepaalde meteorenzwermen, kunnen met succes door waarnemen met het blote oog verkregen worden. Sommige ervaren visuele waarnemers blijken in staat te zijn om, in een zeker helderheidsgebied, betrouwbaar de helderheid van meteoren ten opzichte van vergelijkingssterren te schatten. Fotografische-, fotoëlektrische- en radarwaarnemingen geven

---

77, 78. Boven: een *K-Cygnide Vuurbol*, 15-8-'64. Helderheid m = -6. Onder: *Perseïde* in *Hercules*. 15-8-'64. 21 min. op HP3. *f*/2,5, *f* = 306 mm.

echter veel nauwkeuriger resultaten, en hebben reeds vele problemen opgelost, die men tegenkwam bij het verklaren van het meteoorverschijnsel. De visuele waarnemer kan door het zeer kortstondige meteoorverschijnsel en door zijn begrensd opmerkingsvermogen, alleen maar enkele facetten van de meteoor waarnemen.
Een fotografische afbeelding echter kan men steeds weer grondig en in al zijn facetten onderzoeken, waarbij nog komt dat men de plaats van de meteoor aan de hemel veel nauwkeuriger kan bepalen.
Als u meteoren wilt fotograferen zult u zich waarschijnlijk afvragen: hoe lang moet ik fotograferen voordat ik met zekerheid een foto van een meteoor heb gemaakt?
Deze vraag kan niet onmiddellijk beantwoord worden, omdat er vele faktoren in het spel zijn, zoals: de lichtsterkte van uw kameralens voor meteoren(let wel: niet de openingsverhouding is van belang), de gevoeligheid van de film of fotografische plaat die u gebruikt, de tijd van het jaar waarin u een opname wilt maken, naar welk punt van de hemel richt u, enz.

1. De kans op succes

a. Welke kamera?

Wil men met een zo groot mogelijk succes meteoren fotograferen, dan dient men gebruik te maken van lichtsterke kamera's en van zeer gevoelige fotografische emulsies.
Wij voeren twee begrippen in, die samenhangen met de te gebruiken kamera en film:
1. grensmagnitude van een kamera voor meteoren (M_{grens}),
2. effektiviteit of rendabiliteit van een kamera voor meteoren (E).

De *grensmagnitude* van de kamera voor meteoren wordt bepaald door de hoeveelheid licht van de meteoor die de kameralens passeert, door de brandpuntsafstand van het objektief en door de gevoeligheid van de emulsie.
De hoeveelheid licht die de kamera binnentreedt is afhankelijk van de oppervlakte van het objektief, dus van het kwadraat van de effektieve diameter van het objektief. De M_{grens} is dus evenredig met D^2_{eff}.

De brandpuntsafstand bepaalt bij een gegeven hoeksnelheid van de meteoor, de zogenaamde plaatsnelheid van de coma. Hiermee wordt bedoeld de snelheid van de afbeelding van de lichtgevende meteoroïde over de emulsie. Als de brandpuntsafstand groter is zal de plaatsnelheid (bij gelijke hoeksnelheid van de meteoor) eveneens groter zijn, maar de belichtingstijd per emulsiekorrel zal dalen en daardoor tevens de M_{grens}. Uit het voorgaande volgt, dat de M_{grens} omgekeerd evenredig is met de brandpuntsafstand (f).
Als laatste belangrijke faktor heeft men bij de grensmagnitude te maken met de gevoeligheid (g) van de emulsie. Wil men de grensmagnitude maximaal hebben, dan moet men een film of plaat nemen waarvan de gevoeligheid maximaal is. Tegenover de gevoeligheid staat echter de fijnheid en de regelmatigheid van de korrel en het scheidend vermogen van de emulsie. In het algemeen kan men zeggen dat bij een grote gevoeligheid de korrel grof en onregelmatig is en het scheidend vermogen gering.

Samenvattend is dus: $M_{grens} \approx \frac{D^2_{eff}}{f} \times g.$

De *effektiviteit* van een kamera voor meteoren is bij een gegeven grensmagnitude uitsluitend afhankelijk van de grootte van het kameraveld (O) in vierkante graden. Fotografeert men bij een gegeven grensmagnitude van de kamera met een fotografisch plaatje dat aan de hemel 1 vierkante graad bestrijkt een zeker aantal meteoren, dan fotografeert men met dezelfde kamera en met een fotografisch plaatje dat aan de hemel 2 vierkante graden bestrijkt, het dubbele aantal meteoren, zodat:

$$E \approx \frac{D^2_{eff}}{f} \times g \times O.$$

Met behulp van deze formule is een tabel opgesteld, zie pag. 118. Hierin kan men zien hoe effektief diverse kamera's voor meteoren zijn. Uit het effektiviteitsgetal is het begrip „x" afgeleid, dat aangeeft hoeveel meteoren de beschouwde kamera in een bepaald tijdvak gefotografeerd zou moeten hebben, als de f/2,8 — 50 mm kamera (d.w.z. een doorsnee kleinbeeld-kamera) in hetzelfde tijdvak er één heeft gefotografeerd.

b. Welke film en ontwikkelmethode?

Elke enigszins gevorderde amateurfotograaf weet, dat er een groot aantal faktoren zijn die de gekozen film tijdens het ontwikkelen, op zowel gunstige als ongunstige wijze, kunnen beïnvloeden.

Emulsie Ilford HPS 30° DIN

filmformaat	f	f/D_{eff}	D_{eff}	D^2_{eff}/f	M_{grens}	O	x
mm	mm	—	mm	mm	magn.	graad²	—
24 × 46	55	1,7	32	19	+0,5	890	4
24 × 36	50	2,0	25	13	+0,1	1070	3
24 × 36	50	2,8	18	6	—0,8	1070	1
24 × 36	35	3,5	10	3	—1,5	2060	1
60 × 60	90	4,5	20	4	—1,2	1360	1
90 × 120	135	4,5	30	7	—,06	1770	3
K-24; 130 × 130	153	2,5	61	24	+0,8	2120	12
K-37; 180 × 190	305	2,5	122	49	+1,5	1420	20
Super Schmidt 170 diam.	200	0,65	310	477	+4,0	2380	600

O = oppervlakte van het kameraveld in vierkante graden

f = brandpuntsafstand van de optiek

D_{eff} = diameter van de lens die bijdraagt tot de beeldvorming

M_{grens} = zwakste meteoor die de kamera nog net kan fotograferen

x = aantal meteoren die de kamera gefotografeerd zou moeten hebben als de $f/2{,}8$-50 mm kleinbeeldkamera er één heeft gefotografeerd.

Laten wij ons allereerst afvragen: wat willen en verwachten wij precies, van de gebruikte film en ontwikkelmethode. Beiden zullen zo gekozen moeten worden, dat de gevoeligheid van de film maximaal wordt. Bij deze maximale gevoeligheid willen wij ook nog een zeer fijne en regelmatige korrel, en een zo groot mogelijke scherpte. U weet echter dat de genoemde eigenschappen onmogelijk te combineren zijn. Als u met kleinbeeldfilm werkt, zijn er wel gunstige film-ontwikkelaarkombinaties te noemen, bijvoorbeeld:

Voor direkte fotografie: Agfa Isopan Rekord film gedurende 18 minuten ontwikkelen in Adox E24. Hierbij heeft men een maximale gevoeligheid (36° Din) bij een redelijk scheidend vermogen en een redelijke korrel.

Voor spektroskopie: Kodak Pan Tri-X film gedurende 8 minuten ontwikkelen in Agfa Atomal Neu. Men heeft dan een maximaal scheidend vermogen bij een redelijke gevoeligheid (30° Din).
Fotografische platen, bijvoorbeeld HPS en HP3 van Ilford, kan men het beste volgens fabrieksvoorschrift in Microphen ontwikkelen.
Bij de keuze van de film kunnen naast gevoeligheid en scheidend vermogen ook andere faktoren van belang zijn. Is men erop uit bij spektroskopie een bepaald deel van het meteoorspektrum goed te fotograferen, dan is men aangewezen op een film die voor dit deel van het spektrum bijzonder gevoelig is.
Doodontwikkelen heeft naar mijn ervaring hier geen zin: de sterrensporen zijn op het lang ontwikkelde negatief veel breder geworden, en de korıel is zeer grof en onregelmatig.

2. De meteorenaktiviteit in de loop van het jaar

De tabel die u laat zien hoe effektief uw kamera voor meteorenfotografie is, geldt alleen voor waarnemen buiten meteorenzwermen.
In bepaalde tijden van het jaar ontmoet de aarde in zijn loop om de zon zwermen meteoroïden, waardoor de aktiviteit van de meteoren sterk toeneemt. De onderstaande tabel laat zien, in welke tijden van het jaar de meteorenaktiviteit groter is dan normaal.
Bij het fotografisch waarnemen tijdens deze zwermen, is de

Zwerm	Tijdsperiode *waarin zichtbaar*	Maximale *aktiviteit*	Aantal per uur zenith
Quadrantiden	3-5 januari	3/4 januari	50
Lyriden	19-23 april	22 april	10
η-Aquariden	21 april-12 mei	4 mei	20
Perseïden	27 juli-17 augustus	12 aug	60
Orioniden	15-25 oktober	21 oktober	20
Tauriden	26 oktober-16 november	4 november	6
Leoniden	14-18 november	17 november	100?
Geminiden	9-14 december	13 december	60

Aantal per uur in zenith = aantal zwermmeteoren voor één waarnemer per uur zichtbaar, bij maximale aktiviteit van de zwerm en als de radiant in het zenith staat.

kans op succes met een geschikte kamera zeer groot (foto 75, 77, 78 en 80).
Wilt u tijdig voor een waarnemingskampanje, uitgeschreven door de Werkgroep Meteoren van de Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrenkunde, opgewekt worden, schrijf dan naar deze vereniging (Wagenstraat 37, Den Haag), die u in kontakt met de werkgroep brengt. De leider van de fotografische waarnemingen zal u dan het adres geven van een waarnemingspartner, waarmee u simultaan fotografeert (foto 76).

3. De Sektor

Als u de tijdsduur van de gefotografeerde meteoor wilt bepalen, dient er voor het objektief van de kamera een sektor rond te draaien, die op bekende en regelmatige wijze de lichtstroom onderbreekt. Het aantal onderbrekingen mag liggen tussen 12,5 en 100 per sekonde. Dit is eenvoudig te bereiken met een fietsdynamo, die via een scheltransformator op het lichtnet kan worden aangesloten. De dynamo kan dan als synchroonmotor draaien, en zijn toerental is gelijk aan de frekwentie van het elektriciteitsnet gedeeld door het aantal poolparen dat de dynamo heeft.
De sektordiameter moet zo groot mogelijk zijn. Hierdoor wordt namelijk het objektief zo snel mogelijk afgedekt, waardoor de onderbrekingen in het meteoorspoor scherper worden. Voor nauwkeurige metingen is dit onontbeerlijk. Bij gebruik van een dynamo, die immers niet zelfstartend is, kan men de maximale diameter van de sektor op 30 cm stellen, anders moet men de sektor met een hulpmiddel starten, bijvoorbeeld een handboormachine die met een wrijvingskoppeling de sektor tot het juiste toerental kan aandrijven. Men moet de koppeling dan op het juiste moment verbreken.
De sektor kan men het beste van een plaat aluminium van 1 mm dikte maken. Men verdeelt een ronde schijf in 4 delen en knipt of zaagt er twee delen uit. Om trillingen te voorkomen moeten we de sektor + motor niet aan de kamera vastmaken. Kamera en sektor kunnen op een plankje worden geplaatst, dat door middel van een as in het horizontale vlak kan draaien. Men kan een stellage gebruiken waarin het plankje met de as kan worden vastgezet. Dan kan men het geheel naar alle kanten richten (zie foto 81).

4. Simultaan fotograferen

Een gefotografeerde meteoor heeft alleen maar wetenschappelijke waarde als hij vanuit twee verschillende plaatsen is gefotografeerd. Daarom moet men er bij het fotograferen zorg voor dragen, dat men met één of meerdere partners samenwerkt, die op afgesproken tijden hun kamera naar eenzelfde punt op 80 km hoogte in de atmosfeer richten. De afstand tussen de waarnemingsposten kan men nemen tussen 20 en 100 km.
Bij 20 km is de nauwkeurigheid van de simultane waarneming door de korte basislijn gering.
Bij 100 km is de nauwkeurigheid sterk toegenomen, maar de gezamenlijk bestreken ruimte in de dampkring is veel geringer dan in het eerste geval, waardoor men minder meteoren simultaan zal fotograferen. Het beste compromis ligt tussen 30 en 40 km.
Als bij een simultane waarneming de foto's voldoen aan de eisen genoemd in paragraaf 6, dan kunnen uit zulke simultane waarnemingen alle gegevens gehaald worden, die voor een nauwkeurige baanberekening van de meteoor nodig zijn.

5. Spektroskopie

In het buitenland wordt deze tak van meteorenfotografie door amateurs betrekkelijk intensief beoefend.
Bij direkte fotografie is men o.a. in staat om door meting van het negatief, de massa van de meteoroïde te bepalen. Fotograferen we echter een spektrum van een meteoor, dan kan men bijvoorbeeld de chemische samenstelling van de meteoroïde en van de dampkring op de hoogte waar het verschijnsel zich afspeelt, te weten komen.

Voor het fotograferen van een meteorenspektrum gebruiken we een objektiefprisma. (Zie figuur 12).
Alle lichtgevende puntvormige objekten in het gezichtsveld verschijnen dan onder gunstige omstandigheden (hooggevoelige emulsie, geringe bewegingssnelheid van het objekt en voldoende helderheid) als een spektrum op de film of plaat. Hoe groot is de kans dat men een meteoorspektrum op de plaat krijgt?

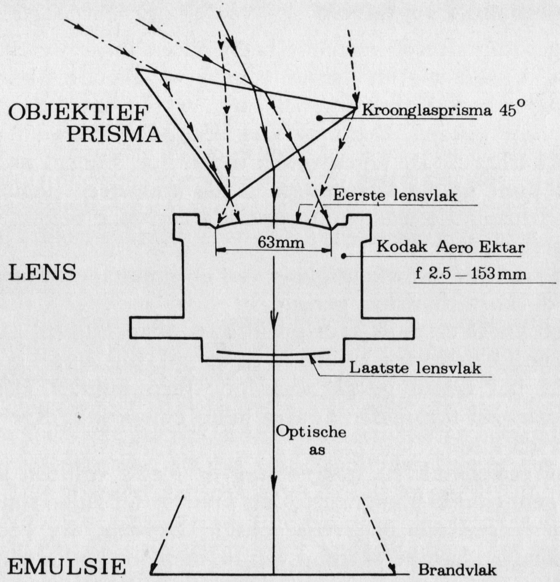
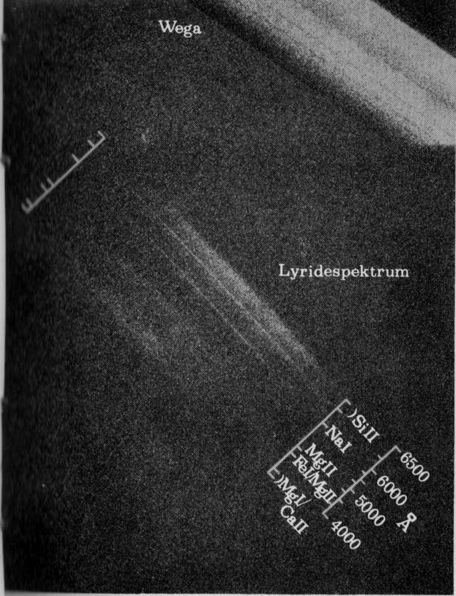
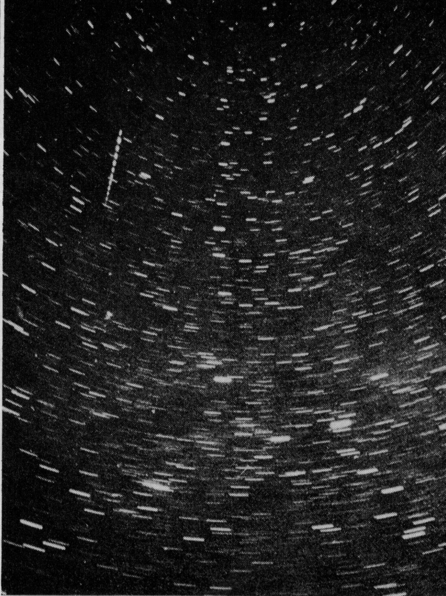


fig. 12

De kans op het fotograferen van een meteoor in wit licht, met een kleinbeeldkamera is al gering. Onze ervaring leert dat er op de nachten, waarin we meteoorzwermen verwachten gemiddeld één per twee uur gefotografeerd wordt. Als men een prisma op een effektieve manier (zie figuur 12) voor de lens van een kleinbeeldkamera monteert, wordt de afbeelding van de meteoor tot een kleurenband uitgerekt. De hoeveelheid licht per emulsiekorrel daalt en de meteoor moet dus veel helderder zijn om de emulsie nog te kunnen zwarten, dan bij direkte fotografie. Uit gegevens van buitenlandse waarnemers blijkt, dat men bij regelmatig werken één spektrum fotografeert per 50 uur belichten (foto 79).

79, 80, 81. Links boven: het eerste in Nederland gefotografeerde *Meteoorspektrum*. *Lyride* in de nacht van 21 op 22-4-'66. (J. Degewij en F. H. Naber).
Boven in de opname het spektrum van *Wega*.
Rechts boven: *Perseïde* bij de Noordpool. 13-8-'61. (Alberts.)
Onder: Nieuwe kameraopstelling van de groep Degewij-ten Haaf-Naber.


Wega
Lyridespektrum
SiII
NaI
MgII
FeI/MgII
MgI/
CaII
6500
6000
5000
4000
Å



Helaas is het spektrum met een kleinbeeldkamera en een 45° kroonglasprisma maar ± 2 mm in kleurrichting breed, zodat het onmogelijk is om het spektrum in detail te onderzoeken. Het is beter om lichtsterke optiek met langere brandpuntsafstand te gebruiken, zodat het spektrum groter wordt.

6. Werkwijze bij het fotograferen van meteoren

1) Richt de kamera zodanig naar de hemel, dat u samen met uw waarnemingspartner(s) eenzelfde punt op 80 km hoogte in de dampkring bestrijkt. Wil men er zeker van zijn, dat de waarnemingspartner niet door bewolking of andere oorzaken is verhinderd, dan is telefonisch kontakt op een afgesproken tijdstip noodzakelijk.
2) Start de sektor.
3) Begin de belichting op een afgesproken tijd (met de waarnemingspartner vastgesteld), en noteer het nummer van de opname.
4) Na 1 minuut belichten wordt de lens gedurende 10 sekonden afgedekt (dicht bij de pool gericht: 20 sekonden). Deze afdekkingstijd is bedoeld voor een kleinbeeldkamera, voor optiek met langere brandpuntsafstand moet men hem korter nemen. Het tijdstip van het midden van de onderbreking moet tot op sekonden nauwkeurig bepaald worden.
5) Belicht het negatief nu gedurende een tijd die proefondervindelijk bepaald moet worden (afhankelijk van storend licht van een stad of van de maan).
6) Eén minuut voor het einde van de belichting moet men weer 10 respektievelijk 20 sekonden afdekken. Het tijdstip van het midden van de onderbreking moet opnieuw nauwkeurig worden bepaald.
7) De belichting beëindigen.

Nu komt een nieuwe opname, dus weer bij 3) beginnen, enz. totdat men aan het einde van de afgesproken tijd de waarnemingen afbreekt.
Ziet u in de periode van waarneming een heldere meteoor in het kameraveld dan moet de tijd genoteerd, en de baan op een sterrenkaart ingetekend worden, voorzien van een nummer. Vooral ook de zwakkere meteoren optekenen, omdat men

nooit volkomen zeker is of een waargenomen zwakke meteoor niet gefotografeerd wordt. Bijzonderheden vermelden!
Wilt u indien u platen of vlakfilm gebruikt, deze met een zacht potlood aan de emulsiezijde nummeren.

Als u een of meer meteoren gefotografeerd hebt moet u de volgende gegevens vermelden:

a. Naam en adres van de waarnemer.
b. Geografische lengte en breedte van de waarnemingsplaats.
c. Gegevens over de visuele waarneming van de meteoor.
d. Het tijdstip van de meteoor (met mogelijke fout).
e. Het tijdstip van het midden van de steronderbrekingen, als onder 4) en 6) bedoeld, met mogelijke fout.
f. Optiekgegevens en kameramerk.
g. Gebruikte film of plaat, hoe ontwikkeld (naam ontwikkelaar, gebruikte verdunning), hoe lang ontwikkeld en bij welke temperatuur.
h. Hoeveel maal per sekonde werd de lens door de sektor afgedekt, en hoe groot waren de bladen van uw sektor in graden, hoeveel mm is de afstand tussen de sektoras en de optische as van de kamera, en hoe groot is de afstand tussen het sektorvlak en het vlak van de fotografische emulsie.
i. De weersomstandigheden tijdens het waarnemen.
i. Waarheen was uw kamera gericht? Azimuth en hoogte van het richtpunt of naar welk sterrenbeeld gericht.

Uw opname heeft met deze gegevens wetenschappelijke waarde. Als u kontakt hebt opgenomen met de werkgroep meteoren van de Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrenkunde weet u ook de weg om deze opname daar te krijgen, waar men er wat aan heeft.

Hoofdstuk 8

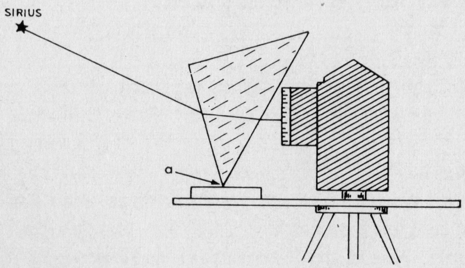
Het fotograferen van sterrenspektra

1. Manieren om een spektrum te fotograferen

Astronomen gebruiken een aantal verschillende manieren om een spektrum te fotograferen. Voor de amateur komt alleen opnemen van een spektrum met een prisma vóór het objektief van een kamera in aanmerking.
Daarmee is echter al veel te bereiken. Met een heel bescheiden uitrusting zijn de spektra van alle zichtbare sterren te fotograferen.

Een voorproefje

Als men met primitieve hulpmiddelen een aardig resultaat bereikt, geeft dat moed om verder te gaan. Als u met de hier getekende opstelling het spektrum van Sirius fotografeert, zult u zeker succes hebben. We kiezen met opzet Sirius, want ten eerste is die zeer helder (m - 1,6) en ten tweede vertoont het spektrum een serie duidelijke absorptielijnen van waterstof in de atmosfeer van Sirius.
Neem een vrij gevoelige film (18° of 21° Din). Stel de kamera in op oneindig en gebruik het op een na grootste diafragma. Zet voor het objektief een gewoon zenith-prisma in de aangegeven stand. Zorg ervoor, dat het deel van het prisma waardoor het licht in het objektief valt, groter is dan de gebruikte objektiefopening. Verder dat de ribbe *a* van het prisma



ongeveer evenwijdig is aan de dagelijkse beweging van Sirius langs de hemel.

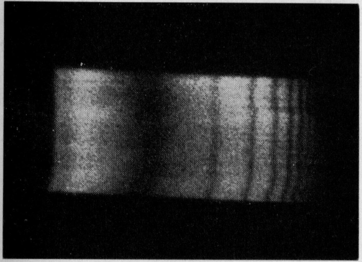
Zet nu de lens open en belicht een minuut.

Nu is het eigenlijk klaar, maar omdat er kans is, dat er een zwaar overbelicht spektrum ontstaan is, doen we het volgende: Houdt een halve minuut lang een stuk zwart papier voor de lens en draai het diafragma een stop terug. Belicht nu weer een minuut. Weer het blad een halve minuut ervoor en een stop terugdraaien; daarna nog één minuut belichten.

Na het ontwikkelen ziet u drie spektra naast elkaar, die telkens minder licht gekregen hebben. Met een loupe kunt u waarschijnlijk in deze spektra een aantal fijne lijntjes zien. Maak een vergroting van 10 à 20 ×.

Het resultaat zal u leren of u met deze opstelling nog resultaten kunt bereiken met minder heldere sterren. Als het minst-belichte spektrum nog duidelijk is, kunt u waarschijnlijk ook nog spektra van sterren tot 1 m fotograferen.

Het instellen van de kamera geeft geen moeilijkheden als u een spiegelreflex-kamera heeft. U kunt Sirius dan als een lichtstreepje op het matglas zien. Met kamera's waarbij dit niet mogelijk is, moet u met behulp van de figuren op blz 130 maar schatten hoeveel lager u de kamera moet richten. Het beeldveld van de kamera is over het algemeen groot genoeg om op deze wijze toch vrij zeker Sirius op de plaat te krijgen.



82. Het spektrum van Sirius

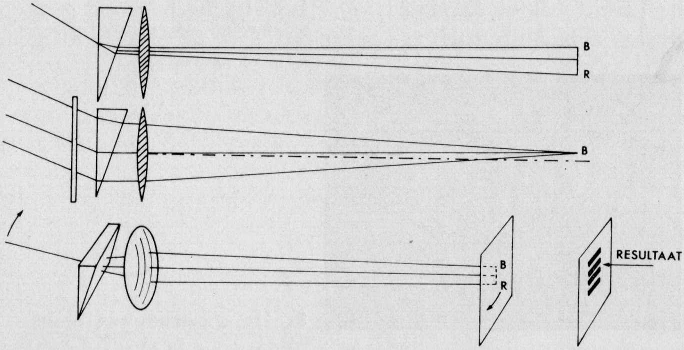
Het spektrum van Sirius

Dit spektrum van Sirius is opgenomen met een kamera met een brandpuntsafstand van 11 cm. Diafragma f/8 op Agfa 17° Din film. Voor het objektief was een prisma met een tophoek van 30°. De belichtingstijd was ongeveer een minuut.

Op het negatief had het spektrum een lengte van 1,4 mm en een breedte van 0,6 mm.
Links is rood en rechts violet. De brede donkere lijn zegt niets van het licht van Sirius. Men krijgt die ook als men het spektrum van een kunstmatige ster fotografeert; ze laat alleen maar zien, dat de gebruikte fotografische emulsie minder gevoelig was voor groen licht. De andere steeds dichter op elkaar staande lijnen, zijn de absorptielijnen van waterstof. Deze zijn niet recht omdat het kamerastatief in de sneeuw stond en tijdens de opname iets verzakte.

2. Het ontstaan van een spektrum bij gebruik van een objektief-prisma

Als we niet bij ons eerste proefje willen blijven stilstaan, moeten we iets dieper op de zaak ingaan. Daarom zullen we achtereenvolgens bespreken.:
— het ontstaan van het spektrum met behulp van het objektief-prisma.
— de stand van het prisma
— de lengte van het spektrum en
— de helderheid van het spektrum.



In de bovenste figuur zien we een lichtstraal, die van een ster afkomstig is. Na het passeren van het prisma, waarin de blauwe stralen het sterkst gebroken worden en de rode stralen het minste, wordt er door het objektief een „kleurlijntje”, het spektrum, in het brandvlak van het objektief gevormd.

Hoe dit precies in zijn werk gaat, zien we in de figuur eronder, waar we één evenwijdige bundel licht van een bepaalde ster op het prisma laten vallen. We willen eens nagaan, wat er met de blauwe stralen gebeurt en plaatsen daarom in gedachten een blauwfilter voor het prisma. De blauwe stralen worden alle op dezelfde wijze door het prisma gebroken en verlaten dus als een evenwijdige bundel blauw licht het prisma. Van deze evenwijdige bundel vormt het objektief in het brandvlak één punt: een blauwe punt, B.

Als we een geelfilter voorgeschakeld hadden, zou een gele bundel evenwijdige stralen uit het prisma gekomen zijn. Omdat de gele stralen door het prisma echter niet zo sterk gebroken worden, komt ook het beeldpunt van de gele stralen iets onder dat der blauwe stralen te liggen.

Op deze wijze ontstaat in het brandvlak van het objektief een serie beeldjes van dezelfde ster in verschillende kleuren onder elkaar.

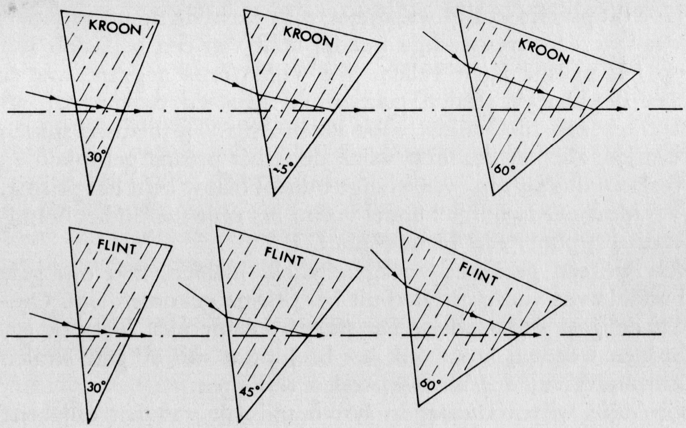
Het lijnvormige spektrum dat zo ontstaat is echter heel moeilijk te bestuderen en daarom geeft men het enige breedte. Dit gaat heel eenvoudig door de kamera enige tijd open te laten staan. Door de aardrotatie beweegt de ster zich aan de hemel van oost naar west, en het spektrum trekt op de fotografische plaat in tegengestelde richting.

Als we zorgen, dat de topribbe van het prisma evenwijdig is met de beweging van de ster, ontstaat een mooi rechthoekig spektrum, en komen de bijzonderheden het duidelijkst naar voren.

Uit de middelste figuur blijkt, dat we alleen maar een scherp beeld in het brandvlak van het objektief krijgen, als het objektief op oneindig is ingesteld. Het kan echter zijn, dat de vlakken van het prisma zelf een geringe kromming vertonen; we moeten dan scherpstellen op 'n heldere ster, met het prisma ervóór.

3. De stand van het prisma

We krijgen het langste spektrum bij een bepaald prisma als het in de zgn. minimum-deviatie-stand staat. Deze is voor elke brekende hoek en elke glassoort te berekenen. We doen dit hier niet, maar geven de stand van het prisma ten opzichte van de optische as van het objektief.... voor verschillende brekende



hoeken en verschillende glassoorten in de bovenstaande figuren. Men kan de stand uit de figuur overnemen omdat ze niet zo heel nauwkeurig aangehouden hoeft te worden. De lichtrichting is met pijlen aangegeven.
Het prisma kunnen we in de juiste stand houden, door het in een rechthoekig houten raampje te klemmen.
De moeilijkheid is nu het instellen op een bepaalde ster. Met een spiegelreflexkamera kunnen we zien, wat er op het beeld zal komen, evenzo met een kamera met matglasinstelling. Maar we kunnen ons ook met het volgende behelpen.
Op een der zijkanten van het houten raampje (waarin het prisma bevestigd is) bevestigen we een dun latje dat de richting van het invallende licht aangeeft (de richting halen we uit bovenstaande figuur).
Nu kunnen we langs het latje kijken en op de ster mikken. Erg nauwkeurig behoeft dit niet te zijn, want het beeldveld van een normale kamera en zelfs van een daarbij behorende telelens is vrij groot.

4. Lengte, breedte en helderheid van het spektrum

Lengte

De lengte van het spektrum is afhankelijk van de brandpuntsafstand van het objektief, van de brekende hoek van het prisma en van de glassoort waarvan het prisma gemaakt is.

We zullen bij onze berekeningen van de volgende gegevens uitgaan.
De lengte wordt opgegeven als de afstand tussen de lijnen $H\beta$ en $H\eta$.
Voor een objektief met brandpuntsafstand van 100 mm met een prisma van kroonglas wordt de lengte dan:

30°	0,6 mm
45°	1 mm
60°	1,7 mm

Dit zijn afgeronde getallen maar dit is voor ons doel ruim voldoende.

Bij het berekenen van de lengte van het spektrum maken we gebruik van de volgende regels:

1. Het *gehele* afgebeelde spektrum is meer dan 1,5 maal zo lang.
2. Met een prisma van flintglas wordt de lengte ongeveer 2,5 maal zo groot, en met een prisma van zwaar flint 5 maal zo lang.
   Het gebruik van zwaar flint is echter niet aan te raden, omdat dit veel licht absorbeert.
3. De lengte is recht evenredig met de brandpuntsafstand van het objektief.

Voorbeeld

Gevraagd de lengte van het spektrum bij een objektief met een brandpuntsafstand $f = 13{,}5$ cm, waarvóór een flintprisma met een brekende hoek van 60°.
Voor $f = 10$ cm, en een kroonglasprisma van 60° is de lengte: $1{,}5 \times 1{,}7$ mm.
Vanwege de grotere brandpuntsafstand vermenigvuldigen we nog met 135/100. En omdat het prisma van flintglas is, nog eens met 2,5, zodat de totale lengte wordt:
$2{,}5 \times 1{,}35 \times 1{,}5 \times 1{,}7$ mm $=$ ca. 9,2 mm.
Hoe langer het spektrum is, des te meer bijzonderheden (over het algemeen absorptielijnen) kan het weergeven. Dat een lang spektrum ook zijn nadelen heeft, zullen we nog zien.

De breedte van het spektrum

Het spektrum mag niet te smal zijn, anders komen de lijnen niet duidelijk uit. Een halve mm op het negatief is wel voldoende.

Een te breed spektrum is schadelijk wat betreft de tijd die we met het opnemen verliezen, en, als we het spektrum opnemen met een volgkijker, zodat het meerdere keren over hetzelfde stukje van het negatief kan lopen, (zie paragraaf 5) wordt een breder spektrum in de zelfde tijd ook lichtzwakker dan een smal. Bij een stilstaande kamera is de breedte evenredig met de belichtingstijd, evenredig met de cosinus van de deklinatie van de ster, en evenredig met de brandpuntsafstand van het objektief.

Hiervoor geldt dus alles wat we over de lengte van het sterrespoor hebben afgeleid in hoofdstuk 3, paragraaf 1.

Het is niet nodig deze breedte met de formule te berekenen. Als men weet, dat een ster op de hemelekwator, opgenomen met een objektief van 10 cm brandpuntsafstand in een minuut ongeveer een spektrumbreedte van een halve mm geeft, dan kan men de breedte voor verschillende tijden en brandpuntsafstanden gemakkelijk berekenen. De enigste moeilijkheid is dan nog de deklinatie van de ster.

Hoe groter de deklinatie, des te smaller wordt het spektrum. Men kan ruwweg het volgende zeggen, (en dat is voor ons doel ruim voldoende):

Tussen 0 en 30° belicht men 1 minuut.
Tussen 40 en 60° belicht men 2 minuten
Op ongeveer 70° belicht men 3 minuten

Daarboven neemt de tijd snel toe, omdat de sterren hoe langer hoe kleinere streepjes in dezelfde tijd op de film trekken.

Rond 80° ongeveer 6 minuten. Boven de 80° kan men praktisch niet met een stilstaande kamera werken als men binnen een redelijke tijd een spektrum van een halve mm breed wil krijgen.

Nemen we als *voorbeeld*, dat we het spektrum van Capella in de Voerman willen fotograferen.

We zoeken de deklinatie van Capella op: ongeveer 40°. Hoelang moeten we belichten om ongeveer een breedte van een halve mm te verkrijgen met een objektief van 20 cm brandpuntsafstand?

Met een 10 cm objektief zou dat ca. 1 min. zijn.

Met een 20 cm objektief dus de helft ervan: 2 min.

De helderheid van het spektrum bij een stilstaande kamera.
De helderheid van het spektrum is van groot belang. Bij onze eerste proef namen we het spektrum van Sirius op. Als we hiermee een goed resultaat hadden, kan het heel goed zijn dat we b.v. van de toch vrij heldere sterren van Orion met dezelfde opstelling geen kopieerbaar spektrum krijgen. Er is dan nauwelijks enige zwarting op het negatief te zien. Bij het gebruik van een stilstaande kamera zijn de zelfde faktoren van belang voor de helderheid van het spektrum, als we afgeleid hebben voor de helderheid van het sterrespoor (Hoofdstuk 3). Hier volgt nog een kort overzicht: De helderheid is afhankelijk van:

de lengte van het spektrum. (Dit is eigenlijk de breedte van het sterrespoor)
de middellijn van het objektief
de brandpuntsafstand van het objektief
de gevoeligheid van de film en
de deklinatie van de ster.

De lengte van het spektrum

De helderheid is omgekeerd evenredig met de lengte van het spektrum. Een twee maal zo lang spektrum is dus maar half zo helder.

De middellijn van het objektief

De helderheid is evenredig met het kwadraat van de objektief-middellijn.

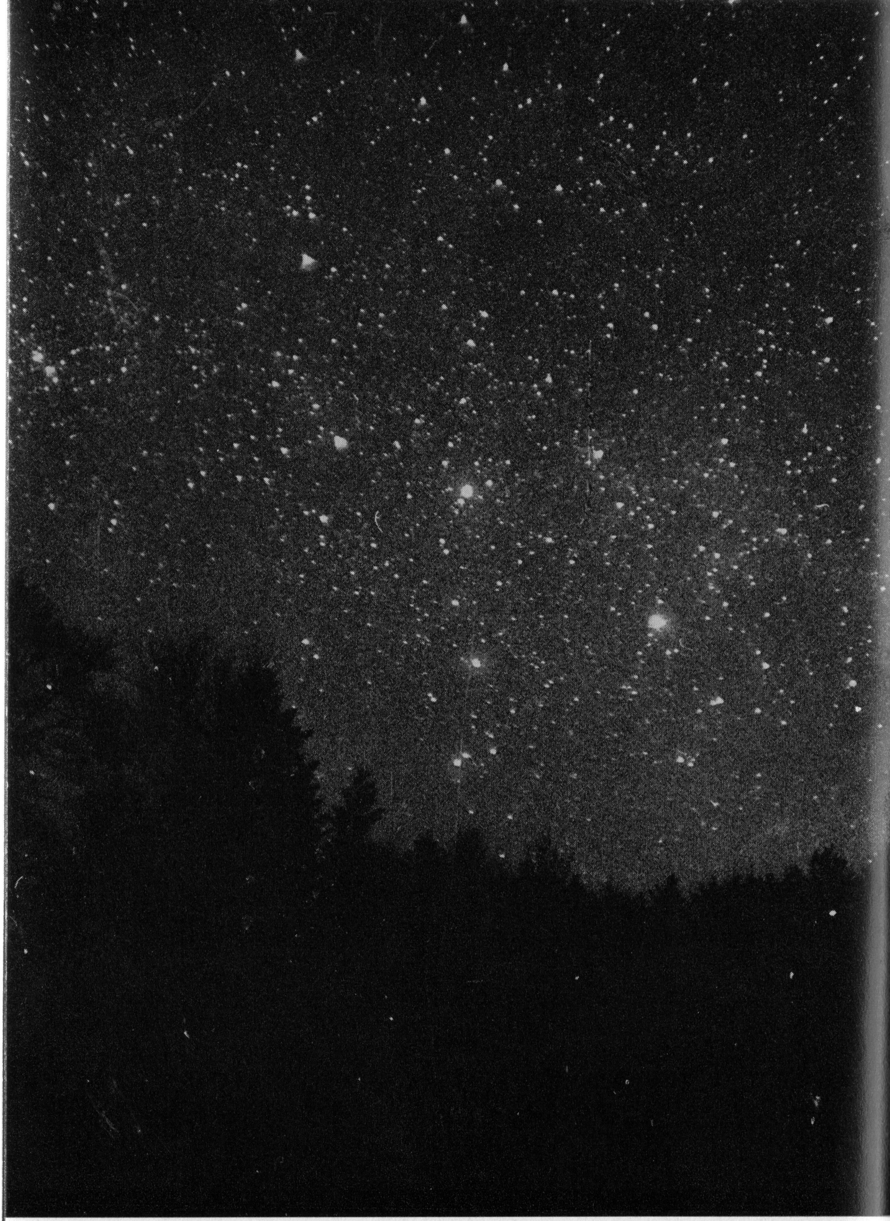
De brandpuntsafstand van het objektief

Deze heeft op de eerste plaats invloed op de lengte van het spektrum; dat hebben we hierboven al verrekend. Maar bovendien is de snelheid waarmee het spektrum over de film loopt nog evenredig met de brandpuntsafstand van het objektief. Dus is de helderheid van het spektrum omgekeerd evenredig met de brandpuntsafstand van het objektief.
Vergelijken we b.v. de helderheden van 2 spektra, genomen met objektieven van dezelfde middellijn, waarvan de eerste een brandpuntsafstand van 10 cm heeft en de tweede van 20 cm, dan zal het spektrum bij het tweede objektief twee maal zo snel over het negatief lopen en het dus maar half zo intensief kunnen belichten.

83 t/m 85. Kleinbeeldopnamen van *Orion* (R. Phildius, Zwitserland).

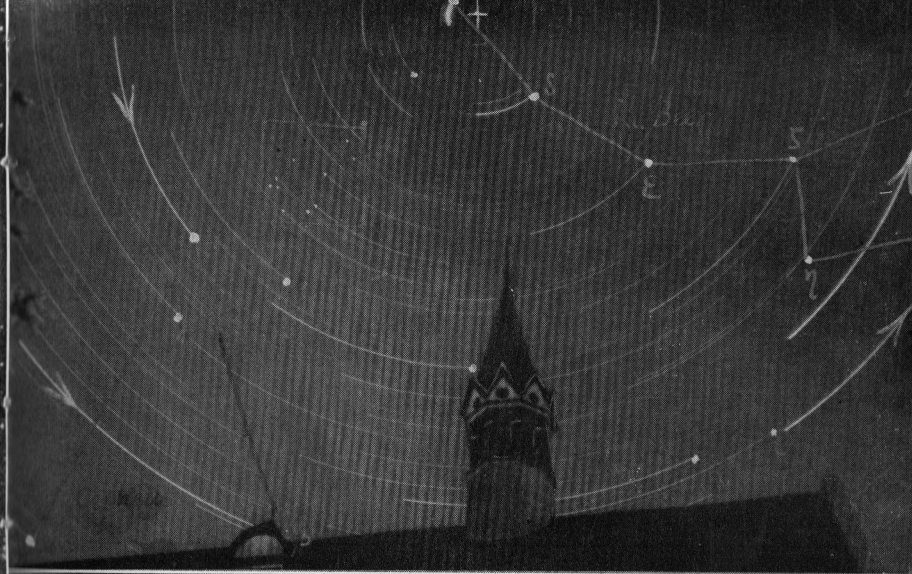
84

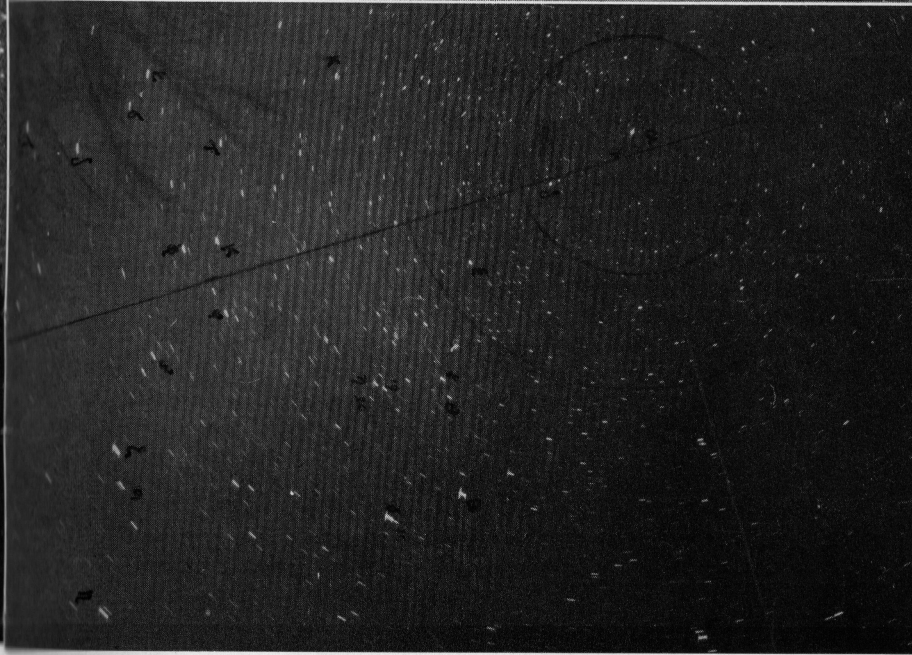
86. Kleinbeeldopname *Grote Hond* (R. Phildius, Zwitserland).



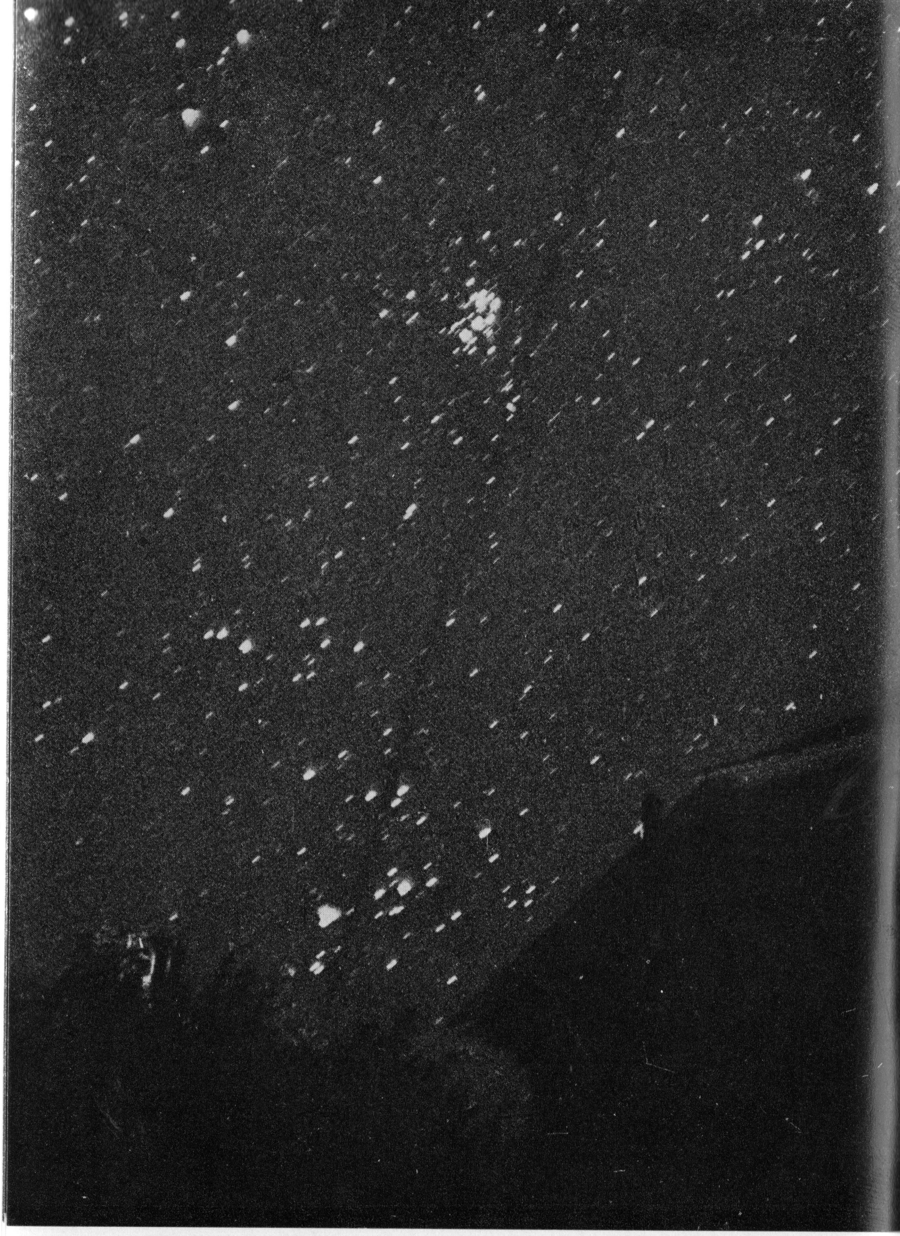
87. Kleinbeeldopname *Cassiopeia* (R. Phildius, Zwitserland).

138





88, 89. *Rond de Hemelpool*, kleinbeeldopnamen. Boven: Volkssterrenwacht. Onder: P. Beeftink.



90. *Hyaden* en *Pleiaden*, kleinbeeldopname (R. Phildius, Zwitserland).

140

91 t/m 94. *Perseus, Voerman, Cassiopeia* en *Tweelingen*. 10 sek. op Tri-X, 8 uur ontwikkeld. Kleinbeeldopnamen *f*/2. (Volkssterrenwacht.)

Hieruit kunnen we de volgende belangrijke konklusie trekken voor het opnemen van spektra met een stilstaande kamera: Als we een langer spektrum willen hebben, is het voordeliger om een prisma met sterker brekend glas of met een grotere brekende hoek te nemen, dan een objektief met een grotere brandpuntsafstand. Het objektief met de grotere brandpuntsafstand maakt niet alleen het spektrum langer (en vermindert daardoor de helderheid) maar het maakt ook, dat het spektrum sneller over het negatief loopt en vermindert daardoor nòg eens de helderheid.

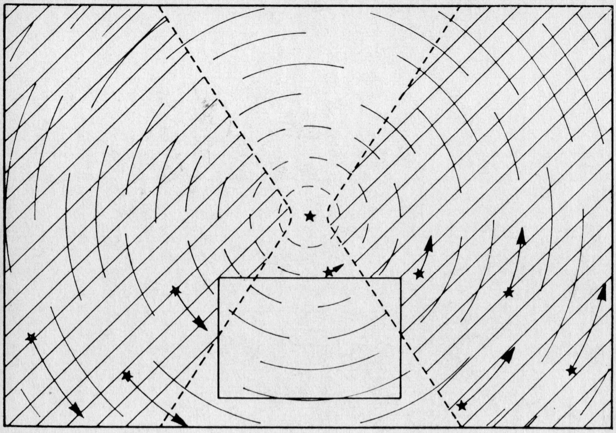
De deklinatie van de ster

Deze heeft ook invloed op de snelheid waarmee het spektrum over de film loopt. Hoe groter de deklinatie des te langzamer loopt het spektrum over de film en des te helderder wordt het spektrum. Als onze kamera een kleine beeldhoek heeft, is het mogelijk om van zwakke sterren die dicht bij de hemelpool staan toch nog een helder spektrum te krijgen.
We kunnen dan namelijk lang belichten en krijgen toch een smal spektrum. Bij gebruik van normale foto-objektieven met een beeldhoek van ca. 30° mislukken opnamen rond de hemelpool om twee redenen:

— er is een groot verschil in de snelheid waarmee het spektrum over het negatief loopt en
— het is niet mogelijk om de kamera zo op te stellen, dat een groot deel van de sterren in het veld zich evenwijdig aan de brekende ribbe van het prisma verplaatsen (zie figuur 13)

Voorbeeld

We nemen aan dat we een dragelijk spektrum van Capella kregen, met een objektief met brandpuntsafstand van 11 cm en een middellijn van 2 cm. Het prisma had een brekende hoek van 45° en was van kroonglas. De film had een gevoeligheid van 17° Din.
We hebben echter nog de beschikking over een objektief met een brandpuntsafstand van 30 cm met een middellijn van 6 cm, terwijl ons grootste prisma er een is met vlakken van 6 × 6 cm en een brekende hoek van 30° (kroonglas).
We vragen ons nu af of we met deze kombinatie een langer en ook een helderder spektrum van Capella kunnen krijgen.



Figuur 13. Sterren rond de hemelpool. De grote rechthoek geeft het beeldveld van een normale lens van een kleinbeeldkamera aan ($f = 5$ cm). In de gearceerde gebieden zijn de spektra sterk vervormd omdat daar de richting van de beweging niet evenwijdig is met de brekende ribbe van het prisma. Deze brekende ribbe staat telkens evenwijdig aan de langste zijde van de rechthoek. De kleine rechthoek geeft het beeldveld van een telelens ($f = 20$ cm). Alleen het gebied dat de telelens bestrijkt geeft goede spektra.

a. Berekening van de lengte:

Met het eerste objektief was de lengte van het spektrum: $1{,}1 \times 1{,}5 \times 1$ mm $= 1{,}65$ mm.
Met het tweede objektief wordt de lengte: $3 \times 1{,}5 \times 0{,}6$ mm $= 2{,}7$ mm. Het wordt dus bijna twee maal zo lang.

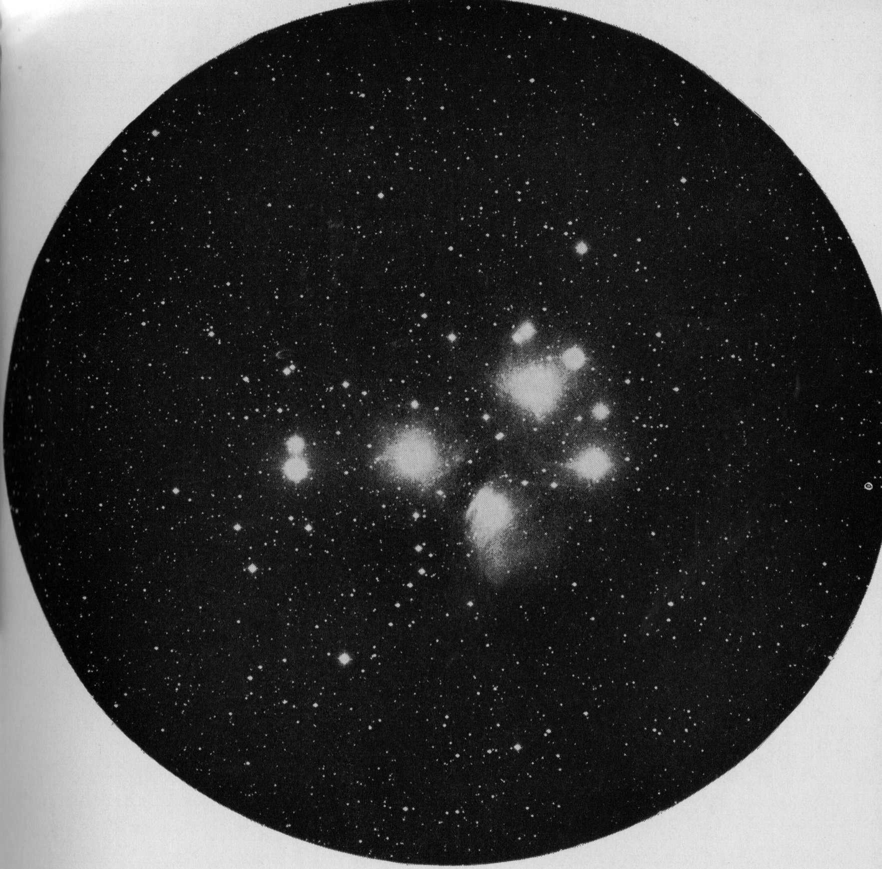
b. De helderheid:

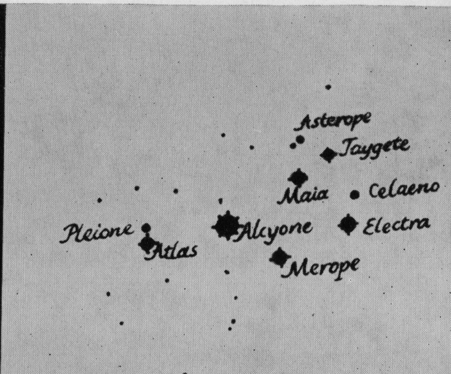
De lengte van het spektrum is vermenigvuldigd met $\frac{2{,}7}{1{,}65}$ de helderheid dus met $\frac{1{,}65}{2{,}7}$.

De objektiefmiddellijn is 3 maal zo groot en daardoor wordt de helderheid vermenigvuldigd met 9. Maar het beeld loopt 30/11 maal zo snel over de plaat, waardoor de helderheid vermenigvuldigd wordt met 11/30.

98. *Zevengesternte.* 10 min. op Tri-X. Kleinbeeld *f*/2,8. (P. Eligius.)

95, 96, 97. *Zevengesternte.* Boven: 15 min. op HPS. Schmidt 300/450/1010. (H. Vehrenberg, Duitsland). Links onder. 30 sek. op Isopan Record. met een condensorlens ⌀ 10 cm, $f = 20$ cm. (Volkssterrenwacht). Rechts onder: Getekend kaartje.




Asterope
Taygete
Maia
Celaeno
Pleione
Alcyone
Electra
Atlas
Merope

99. *Zevengesternte*. 50 min. op 103 aE. $f/6$, f = 900 mm. (E. A. Harlan, U.S.A.)

De slotkonklusie is dus, dat de helderheid vermenigvuldigd wordt met $\frac{1,65}{2,7} \times 9 \times \frac{11}{30} = 2, \ldots$

Het spektrum is dus ook 2 maal zo helder als we dezelfde filmgevoeligheid gebruiken.

Omdat de intensiteit van elke volgende grootteklasse ongeveer 0,4 maal die der voorafgaande is, kunnen we met onze nieuwe opstelling waarschijnlijk nog net spektra opnemen van een volgende grootteklasse.

5. De kamera op een parallaktische montering met een volgkijker

Met een stilstaande kamera hebben we al gauw de grensgrootte der sterren bereikt waarvan we nog spektra kunnen fotograferen. In het laatste voorbeeld bleek, dat we met dat objektief met de respektabele middellijn van 6 cm*) waarschijnlijk nog de spektra van sterren van één grootteklasse zwakker dan Capella konden fotograferen. Maar dat zijn er niet zoveel.

Van de op onze breedte zichtbare sterren is Sirius de helderste met m = - 1,6. Dan komt Wega (0,14), Capella (0,21) Arcturus (0,24), Rigel (0,34), Procyon (0,48), Altair (0,89), Betelgeuze (0,92), Aldebaran (1,06), Pollux (1,21), Spica (1,21), Deneb (1,33) en Regulus (1,34).

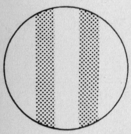
Door het gebruik van een snellere film kunnen we de lijst nog iets uitbreiden, maar niet veel. En we hebben hier geen rekening gehouden met het aantal vrij wat zwakkere sterren nabij de hemelpool, waarvan het spektrum nog duidelijk opgenomen wordt omdat het spektrum zo traag over de fotografische plaat trekt.

Toch blijft het aantal sterren, waarvan wij het spektrum met een stilstaande kamera kunnen fotograferen vrij klein. Als we echter beschikken over een parallaktische opstelling met fijnregeling op de uuras en een volgkijker, dan kunnen we nog spektra van sterren fotograferen, die niet eens met het ongewapende oog zichtbaar zijn. En dat wil zeggen, dat we van vele duizenden sterren het spektrum kunnen fotograferen.

*) Veel groter kan de middellijn niet zijn, omdat we niet gemakkelijk over een groter prisma kunnen beschikken.

γ
α
δ
M34
β
ε

In principe komt de methode hierop neer: We laten het spektrum b.v. een minuut over de fotografische plaat lopen, daarna schuiven we het spektrum met behulp van de fijnregeling weer op de beginplaats en laten het spektrum voor de tweede keer over hetzelfde stukje negatief lopen etc. Op deze wijze is de helderheid van het spektrum geen probleem meer.

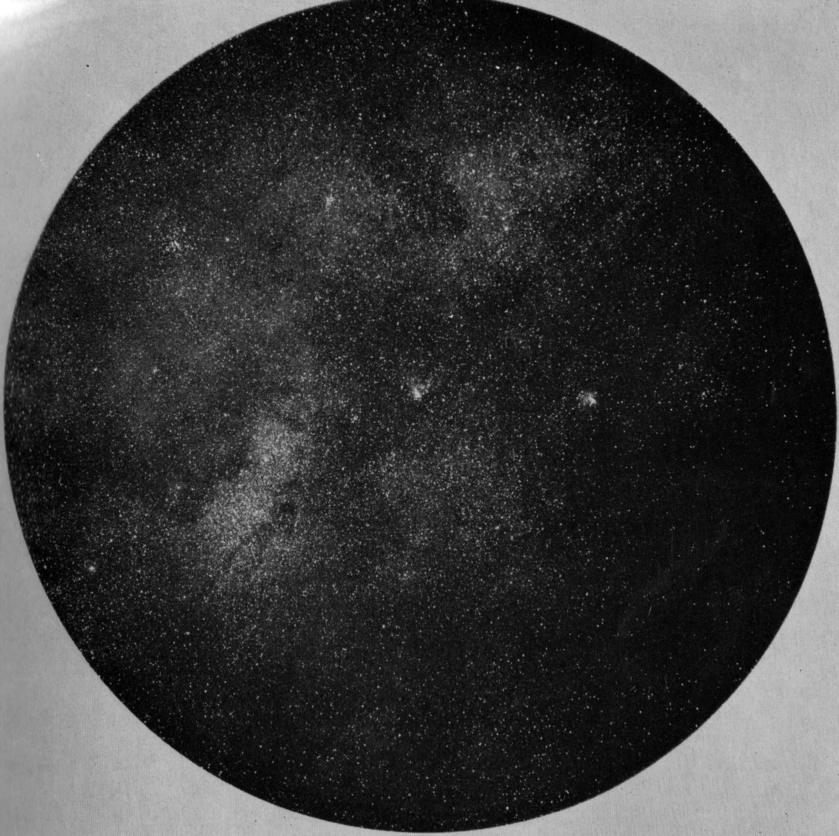


Het is niet moeilijk het spektrum telkens weer precies op zijn uitgangspunt terug te krijgen. Daarvoor brengen we in het brandvlak van het oculair van de volgkijker een glazen plaatje aan, waarop we enige strookjes fijn transparantpapier plakken.
We laten nu de volgster telkens achter een der transparante strookjes heen en weer lopen. We krijgen vanzelf het sein als wij moeten terugdraaien, want dan komt de ster die wij als vaag lichtpuntje door het transparant heen zien, plotseling als een fel lichtpuntje erachter vandaan. We draaien het dan weer terug naar het begin van de transparantstrook.
Ook het probleem van de breedte van het spektrum is hiermee meteen opgelost.

Als we de transparantstroken de breedte $b = 0{,}5 \frac{F}{f}$ geven, waarin F de brandpuntsafstand van de volgkijker en f die van de kamera is, worden alle spektra 0,5 mm breed.
Dat er meerdere transparante stroken in het brandvlak aangebracht zijn, vergemakkelijkt het nemen van spektra van verschillende helderheid op één foto. Het zal nl. in de regel zo zijn, dat na b.v. een kwartier belichten de helderste spektra overbelicht zijn, waardoor de absorptielijnen dichtlopen. Men verschuift nu de volgster naar de volgende transparantstrook en belicht nu de helft van de oorspronkelijke tijd. Men krijgt dan naast elk spektrum dat reeds opgenomen is, een spektrum dat slechts half zo helder is. Zo nodig kan men de spektra ook 3 of meermalen naast elkaar opnemen.

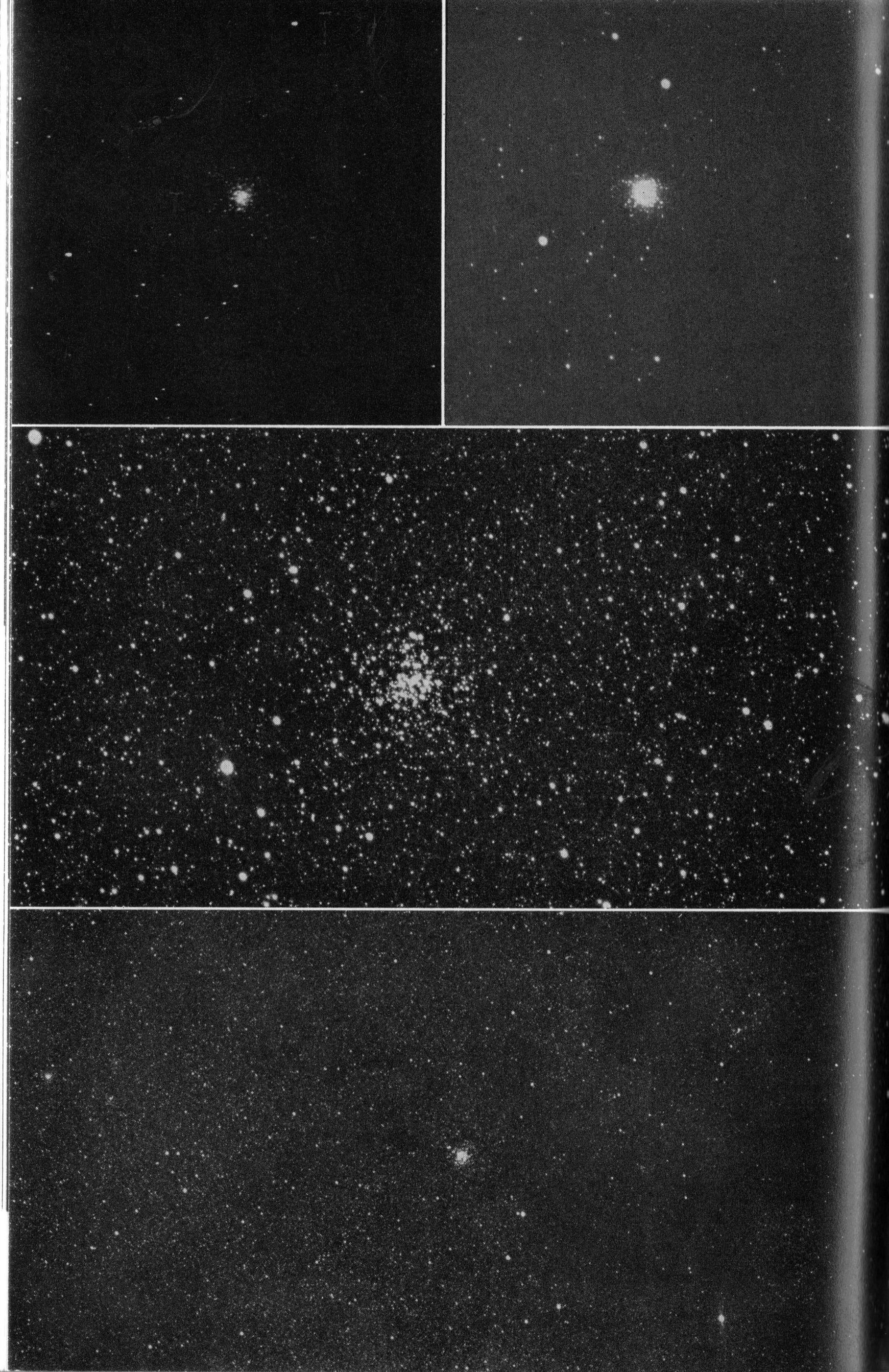
100, 101. Boven: *Perseus.* Kleinbeeldopname *f*/2,8 (P. Eligius).
Onder: Dubbelsterrenhoop in *Perseus.* 30 min. op Agfa Zs. Schmidtkamera 300/450/1010. (H. Vehrenberg, Duitsland).

102. Dubbelsterrenhoop in *Perseus*. 25 min. op Agfa Isopan Ultra. Maksutov 100/175. (A. Küng, Zwitserland).



107. *Melkweg* in *Schild* en *Schutter*. 20 min. op HP3. Maksutov $f/2$, $f =$ 28 cm. (G. Klaus, Zwitserland).

103, 104, 105, 106. Boven links: M 13 in *Hercules*. 30 min. op Super Panchro Press. (P. Peters, U.S.A.) ▶
Boven rechts. M 13. 50 min. op Super Panchro Press. $f/6$, $f = 900$ mm. (E. A. Harlan, U.S.A.)
Midden: M 37. 30 min. op 103 aF. (E. A. Harlan, U.S.A.)
Onder: M 11 en omgeving. (E. A. Harlan, U.S.A.)



108, 109. *Orion.* Inzet: Kleinbeeldopname (P. Eligius).
30 min. op Super XX. Schmidt-kamera (A. Küng, Zwitserland).

110. Nevels in *Orion.* 25 min. op HP3. Maksutov $f/2$, f = 28 cm. (G. Klaus, Zwitserland).

154

111. *Grote* en *Kleine Orionnevel.* (E. A. Harlan, U.S.A.)

112. *Melkweg* en nevels in de *Zwaan.* 30 min. op Super XX. Schmidt-kamera. (A. Küng, Zwitserland).

113, 114. *Noord-Amerikanevel* en *Pelikaannevel.* Boven: 30 min. op Perutz Astro. Schmidt-kamera 300/450/1010. (H. Vehrenberg, Duitsland). Onder: E. A. Harlan, U.S.A.

156

pág 157

En nu verder?

Dit hoofdstuk wil niet meer dan een inleiding zijn tot een boeiend gebied, dat voor de amateur met bescheiden middelen toegankelijk is.

We hebben niet gesproken over het uitmeten van spektra, over het maken van vergelijkingsspektra, over het bepalen van de dispersiekromme van het gebruikte prisma, over het fotograferen van spektra van spectroskopische dubbelsterren, van nevels, van kometen en meteoren.

In H. J. Gramatzki: „Hilfsbuch der astronomischen Photographie" vindt u hier meer over.

En wie wil zien welke opmerkelijke resultaten een amateur met bescheiden middelen op dit gebied bereikt heeft, moet het artikel van M. Beyer lezen in *die Sterne* van 1925. (Zowel het boek als de tijdschriftband zijn in de bibliotheek der Sterrenwacht te Utrecht aanwezig).*)

Als men hierbij bedenkt, dat men in 1925 een film met een gevoeligheid van 3° Din supersnel noemde, en dat de amateur meestal zijn film of plaat zelf door een chemische behandeling panchromatisch moest maken, dan is het duidelijk, dat een amateur, die zich op dit gebied gaat specialiseren, nu nog veel meer bereiken kan.

*) Zo nam Beyer met een objectief met een brandpuntsafstand van 21 cm en een middellijn van 6 cm, en een flintprisma (50°) een spektrum van de middelste ster van de gordel van Orion op, waarop 60 lijnen te onderscheiden waren. Een spektrum van Capella toonde zelfs 250 lijnen! Met een prisma van 30° kon hij met een belichtingstijd van 1 uur nog duidelijke spektra krijgen van sterren van de M 9!

---

115 t/m 119. Boven: *Cirrus-nevel* in de *Zwaan*. (E. A. Harlan, U.S.A.) Midden links: *Ring-nevel* in de *Lier*. 5 min. op Super Panchro Press. (P. Peters, U.S.A.) Midden rechts: NGC 7293 (E. A. Harlan, U.S.A.). Onder links: *Rosette-nevel*. 45 min. op Agfa Zs. Schmidt-kamera 300/450/1010. (H. Vehrenberg, Duitsland).
Onder rechts: *Omega nevel*. (E. A. Harlan, U.S.A.)

Hoofdstuk 9

Het werken met diepgekoelde emulsies

H. Eggeling, Zwitserland

In 1962 gebruikte Arthur A. Hoag op het observatorium te Flagstaff (Arizona, U.S.A.) voor het eerst systematisch sterk gekoelde films voor sterrenfotografie.*) Dat door koeling de effektieve filmgevoeligheid groter werd, was reeds tientallen jaren bekend. Pas toen de astronomen met kleurenfoto's begonnen te werken ging men meer belang stellen in deze methode, want niet alleen de filmgevoeligheid werd verhoogd, maar men bereikte ook een juiste kleurweergave zonder op een ingewikkelde manier met filters te moeten werken. Hoag kreeg bij een belichtingstijd van 1 uur op tot —80° C gekoelde Ektachrome High Speed film zonder filters een „kleurgetrouwe" weergave van nevels met een lijnen-emissiespektrum (foto 6). Hij heeft met zijn medewerkers de methode verder ontwikkeld.
Door zijn publikatie in Sky and Telescope heeft Hoag de amateurs aangemoedigd tot het bouwen van kamera's voor sterk gekoelde emulsies en sedertdien heeft een aantal van hen ermee gewerkt en erover gepubliceerd.**) Ofschoon de amateur met z'n bescheiden teleskoop nauwelijks wetenschappelijk belangrijke opnamen kan maken, wordt zijn aktieradius door het gebruik van sterk gekoelde emulsies belangrijk vergroot: de belichtingstijd wordt met een faktor 8 à 10 bekort bij gebruik van Kodak Tri-X en bij Ektachrome High Speed (23° Din) ongeveer 5 maal. Daardoor komen

*) Zie: A. A. Hoag, Publ. of the Astronomical society of the Pacific, 73, 434, 1961 en A. A. Hoag, Experiences with cooled emulsions, Sky and Telescope, 28, 233, 1964.
**) Zie: E. Kreimer, Sky and Telescope, dec. 1965; aug. 1966. J. Tech, The Observatory, 84, 943, 1964, H. Eggeling, Orion, 95/96, 81, 1966 en Hr. Liesmann, Stern nr. 18, april 1967.

120, 121, 122. Opnamen van E. A. Harlan U.S.A. *Lagune-nevel*, *Halter-nevel* en *Krabnevel*.

zelfs met een 15 cm-teleskoop bij f/8 nog zwakke nevels binnen zijn bereik. Vooral de mooie kleurendia's zijn een royale beloning voor al zijn moeite.

1. Voorwaarden en fysische verklaring

Voor we iets vertellen over fysische verklaring willen we eerst duidelijk maken in welke gevallen we wel en in welke we geen gebruik kunnen maken van deze techniek.

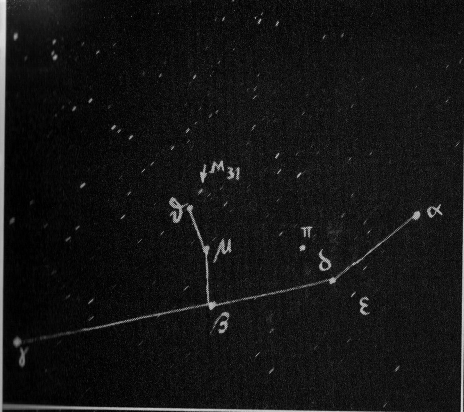
1. De tijdwinst heeft alleen betekenis voor minder lichtsterke optiek met een lange brandpuntsafstand. De grens ligt ongeveer bij f/5. Bij Schmidt- en Maksutov-kamera's loont het dus alleen de moeite, als we de Cassegraintypen ervan gebruiken.
2. Men moet pas aan de bouw van een cassette voor diepgekoelde film beginnen als men de techniek van de normale sterrenfotografie onder de knie heeft.
3. Men fotografere alleen bij uitstekend zicht zonder strooilicht. De verhoogde roodgevoeligheid van de film geeft het strooilicht veel sterker weer dan de overwegend blauwgevoelige emulsies die voor astrofotografie gebruikt worden.
4. Kontrastarme objekten, zoals donkere nevels en zwakke emissienevels, stellen teleur omdat de kontrastversterkende werking van het Schwarzschildeffekt opgeheven is.

Hoe komt de verhoging van de filmgevoeligheid bij de tijdens de opname gekoelde emulsies tot stand? Het verschijnsel is nog niet in alle details verklaard. Het komt echter in hoofdzaak op het volgende neer: Als een lichtquant op een kristalletje zilverhalogenide valt, veroorzaakt dat een verandering in het kristalrooster. Door deze verandering wordt het kristal ontwikkelbaar.

Als echter die storing maar heel gering is, kan deze tenietgedaan worden door de trillingen van de atomen, waaruit het kristalrooster is opgebouwd. Het latente beeld is dus onstabiel. Bij lagere temperatuur zijn de trillingen van de atomen zwakker en blijft de storing die zelfs het zwakste

---

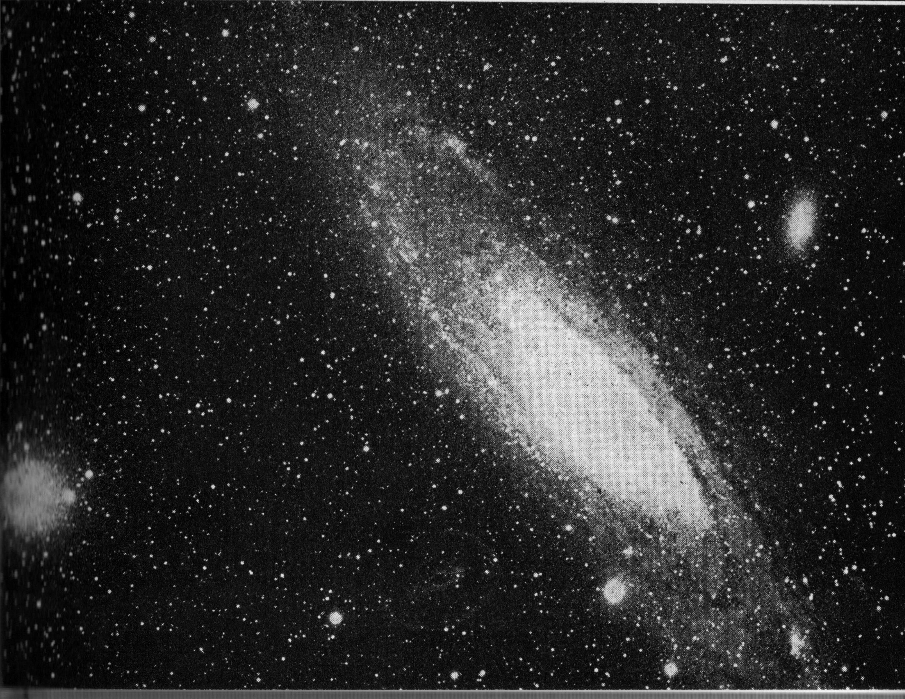
123, 124, 125. *Andromeda-nevel.* Boven links: 2 min. op Isopan-Rekord. Kleinbeeld *f*/2 (C. Kahlé). Boven rechts: 8 min. op Tri-X (Het Zwerk). Onder 1 uur op 103 aF. (E. A. Harlan, U.S.A.).


M31
ϑ
μ
π
δ
α
ε
β
γ

M31

126. *Andromeda-nevel.* 10 min. op Kodak. R. S. Pan. Maksutov-kamera $f/2, f = 28$ cm. (G. Klaus, Zwitserland).
127, 128. *Andromeda-nevel.* Twee opnamen van H. Vehrenberg, Duitsland. Boven: 1 uur op Perutz Astro. Schmidt kamera 150/250/460. Onder: 45 min. op Agfa Zs. Schmidt kamera 300/450/1010.

164



licht in het kristalrooster veroorzaakte behouden. We kunnen het ook zo uitdrukken: ook bij zwak licht en lange belichtingstijd treedt het Schwarzschildeffekt niet of nauwelijks op. Dit houdt tevens in dat bij een kleurenfilm de kleuren in balans blijven.

2. De bouw van de kamera

Als we de film zonder meer koelen, slaat de waterdamp uit de lucht erop neer als rijp. Om dit tegen te gaan, zouden we de kamera kunnen vullen met goed gedroogde lucht.
De warmte-isolatie is bij deze grote temperatuursverschillen slecht en het frontglas van de kamera zou beslaan. Als de kamera goed vacuum gepompt wordt is de dampdruk van water bij —80° C nog zo groot dat geen kondensatie optreedt. Deze oplossing werd door Hoag gekozen. Voor de amateur is deze methode moeilijk uitvoerbaar, want hij zal in het algemeen niet de beschikking hebben over een dure vacuumpomp. Zelf heb ik de volgende werkwijze met succes gebruikt: de kamera wordt met een goed gedroogd gas gevuld en met een eenvoudige waterstraalluchtpomp zwak vacuum gepompt (ca. 0,05 atm).
Figuur 14 op pag. 169 geeft de konstruktie van de kamera weer. De bodem is gegoten van met glasvezel versterkte epoxyhars. De film ligt tegen een aluminiumplaat aan, die tegelijk met het gieten van de bodem is aangebracht. De film wordt gekoeld door vast koolzuur (droog ijs). De ruimte hiervoor heeft een dikke wand van schuimplastic (polystyrol) als warmte-isolatie. Deze wand is bekleed met aluminiumfolie tegen de warmtestraling van buiten.
Het kamerahuis is eveneens gemaakt van met glasvezel versterkte giethars. Het aluminiumraam voor het frontvenster is gelijk met het gieten aangebracht. Dit frontvenster is een 4 mm dikke planparallelle, optisch vlakke glasplaat. De vacuumdichtingen bestaan uit siliconrubber, die uit de tube aangebracht werd en die zowel kleeft op epoxyhars als op aluminium. De andere kant van de flens moet licht ingevet worden.

129, 130, 131. Boven: M 51. Links: 25 min. op HPS. Schmit-kamera 300/450/1010. (H. Vehrenberg, Duitsland). Rechts: 1 uur op 103 aE. (E. A. Harlan. U.S.A.) Onder: M 33. (E. A. Harlan, U.S.A.)

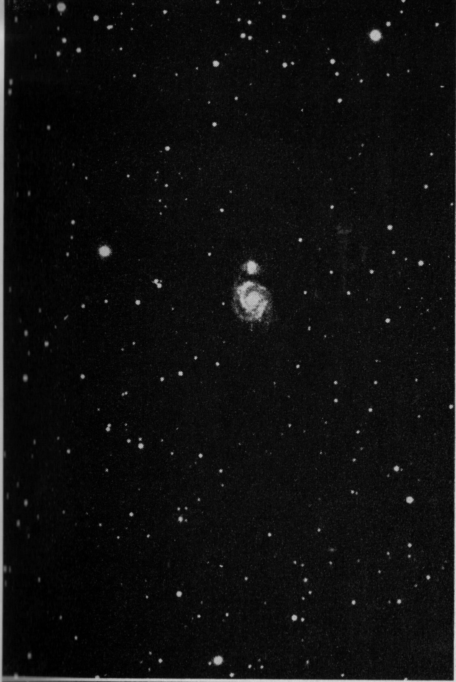
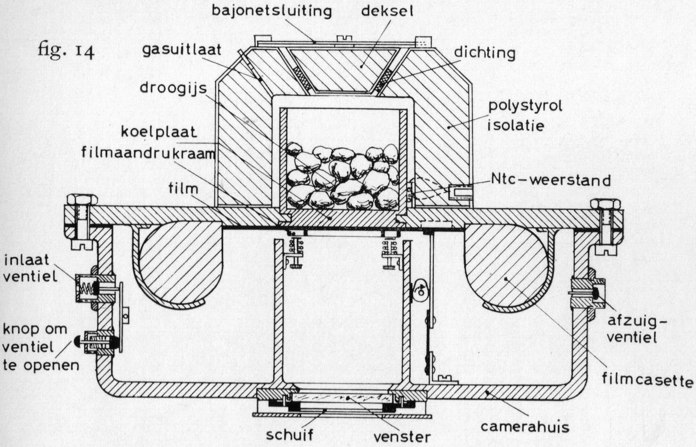


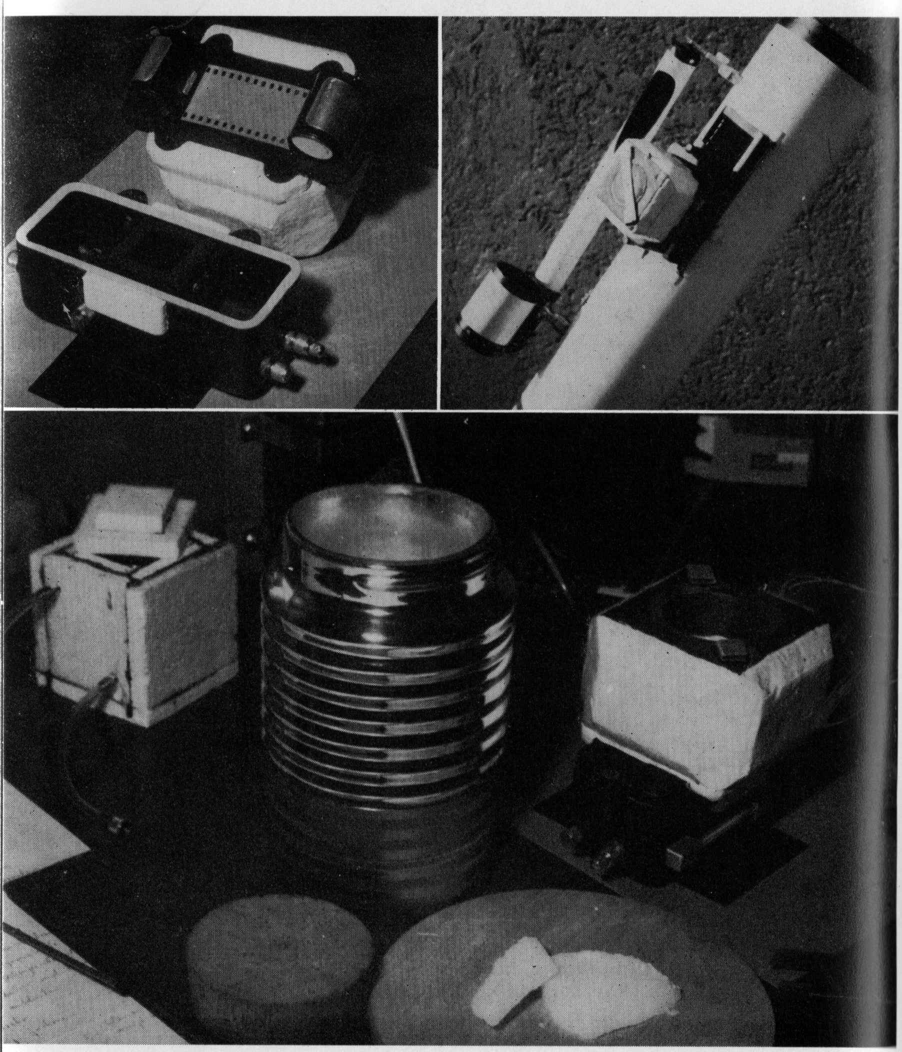
fig. 14



De kamera wordt lichtdicht afgesloten met een schuif. Er zijn twee ventielen: een afzuigventiel dat op de waterstraalluchtpomp aangesloten wordt en een inlaatventiel dat van buiten bediend kan worden en het aanzuigen van gedroogd gas mogelijk maakt. Het vacuum kan gemeten worden door middel van een capillair buisje uit een thermometer. Dit is aan één zijde gesloten en aan de andere kant met het vacuum verbonden. Een onder vacuum naar binnen gezogen kwikdruppeltje geeft dan de druk aan door uitzetting van de geringe hoeveelheid gas in het capillaire buisje. Zoiets maken vraagt wat handigheid (wie goed in de elektronica thuis is, kan het probleem met een NTC-weerstand van Philips oplossen). Foto 137 laat de geopende kamera met de kleinbeeldfilm zien. Het aandrukraam laat 't formaat 24 × 24 mm vrij. Zeer geschikt zijn de cassettes van het Agfa-rapid-systeem, omdat de film door eenvoudig inschuiven opgewikkeld wordt. Een grijper, die ook in het vacuum van buiten af bediend kan worden, zorgt voor het filmtransport.

132, 133. *Grote Wolk van Magalhaes*. 40 min. op Agfa Zs. Schmidt-kamera 150/250/460. (H. Vehrenberg, Duitsland).
Onder: M 81 en M 82. 50 min. op Tri-X. $f/6, f = 900$ mm. (E. A. Harlan, U.S.A.)

134, 135. N.G.C. 253 en N.G.C. 2903. (E. A. Harlan, U.S.A.)
136. Deel van de *Virgo-cluster*. (E. A. Harlan, U.S.A.)



137, 138, 139. Boven: de geopende kamera; daarnaast de kamera op de kijker. De volgkijker is een kleine Kutterteleskoop. Onder: het vullen van de koelkamer.

Het transporteren van diepgekoelde film moet vanwege z'n brosheid in ieder geval vermeden worden.
Zoals reeds gezegd, moet bij zwak vacuum het vulgas zeer droog zijn. Na enige proeven bleek de volgende methode goed te voldoen: er wordt geen lucht maar koolzuurgas aangezogen, dat in de container voor het vaste koolzuur al in zeer droge vorm ter beschikking staat. Om ook het laatste restje vocht eruit te halen, passeert het koolzuurgas eerst nog een spoel die bestaat uit een dunne koperpijp die ook met vaste koolzuur gekoeld is.
Ter voorbereiding van een opname wordt deze en de luchtpomp op de kamera aangesloten. De kamera wordt leeggepompt waarna over het inlaatventiel gedroogd gas aangezogen wordt. Dit wordt enige keren herhaald. Na de laatste keer worden de verbindingen verwijderd en de ventielen gesloten.
Foto 139 laat de kamera zien, klaar voor het vullen met vast koolzuur. (Dit wordt op een houten plank in stukjes gehakt en met een pincet in de koelruimte gebracht).
Om de filmtemperatuur op —75° C te houden heeft men ca. 80 gram vaste koolzuur per uur nodig. Vast koolzuur is goedkoop en in een thermosfles kan men het 2 à 3 dagen bewaren. Wie over een cilinder met vloeibaar koolzuurgas beschikt, heeft het nog gemakkelijker; hij kan koolzuursneeuw direkt in de koelkamer aanbrengen.

3. Ervaringen

Voor kleuropnamen blijkt Ektachrome High Speed daglichtfilm (23° Din) of kunstlichtfilm (22° Din) zeer geschikt. De kunstlichtfilm geeft helderder kleuren, vooral in het rood. De daglichtfilm vertoont ook zonder koeling slechts geringe kleurafwijkingen: een beetje groenzweem.
Voor zwart-wit opnamen is Tri-X aan te bevelen; zonder merkbare vergroting van de korrel wordt z'n gevoeligheid bij —75° ongeveer tien maal zo groot.
Het is niet alleen interessant, maar ook aanbevelenswaardig als oefening, als u eerst binnen testopnamen maakt. Men gebruikt dan de diepgekoelde cassette in combinatie met een of ander kameraobjektief. Een normaal belichte opname van een kleurenschijf dient als vergelijkingsbasis.
We brengen daarna voor het objektief zo'n klein diafragma

aan, dat voor hetzelfde effekt als op de vergelijkingsopname een belichtingstijd van 15 tot 30 minuten nodig is.
Het blijkt dat bij gekoelde film deze belichtingstijd vrijwel toereikend is, terwijl bij niet gekoelde film 1 à 2 uur belicht moet worden. Als verlichtingsbron wordt een daglichtlamp of een laagvolt-projektielamp (geen TL-buis!) gebruikt.
En nu de sterrenopnamen: het drogen en afpompen niet te lang vóór de opname. Het vullen met vast koolzuur ongeveer 10 minuten vóór het begin van de belichting, als alles klaar is voor de opname en de volgster reeds in het midden van het dradenkruis staat.
Belichtingstijd tussen de 10 minuten en 1 uur (bij een openingsverhouding 1 : 8) al naar gelang de helderheid van het objekt.

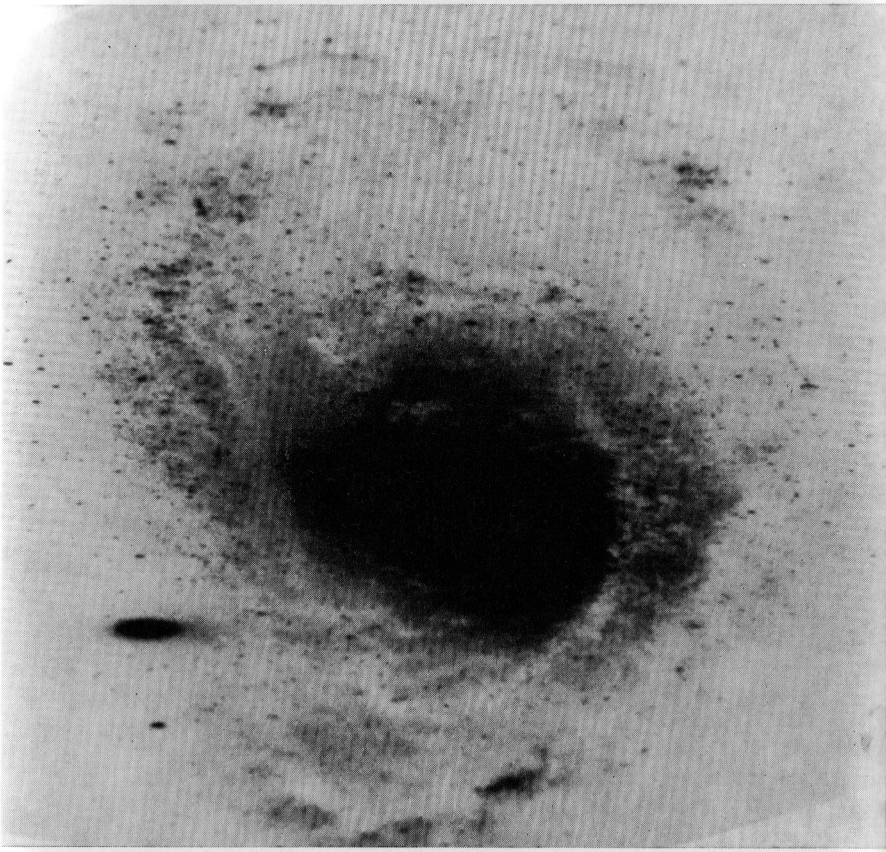
Hoofdstuk 10

Kanttekeningen

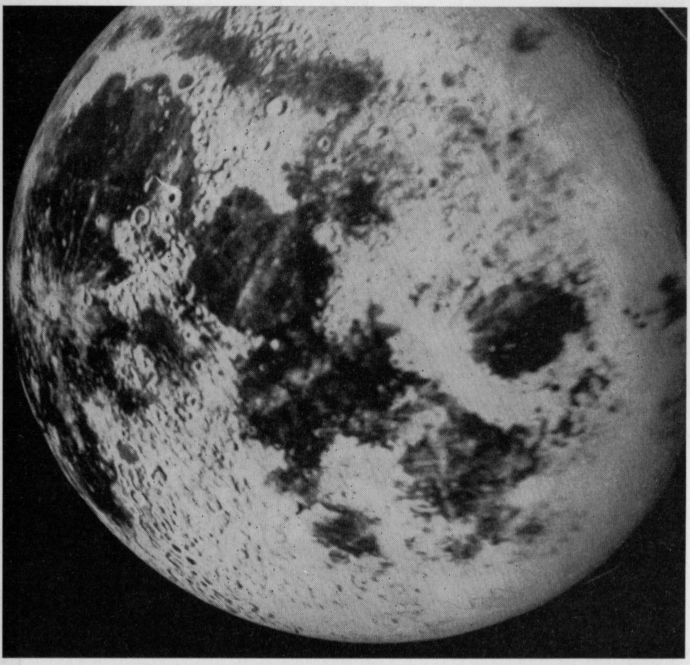
Er zouden aan dit boek nog heel wat hoofdstukken toegevoegd kunnen worden. Daarvoor zou niet meer nodig zijn dan het doorbladeren van de jaargangen van de laatste 30 jaar van astronomietijdschriften uit binnen- en buitenland. In dit hoofdstuk zijn enige van deze onderwerpen bijeengebracht.

1. Van een ander standpunt bekeken

In figuurlijke zin hebben de meeste mensen daar de grootste moeite mee. Meestal zijn ze niet bereid hun eigen mening op te geven. Toch is dat dikwijls vruchtbaar en het voorkomt veel onenigheid.
In letterlijke zin nemen wij in de ruimte voortdurend een ander standpunt in, ook als we slapen: de aarde draait om haar as en wij draaien mee; de aarde draait om de zon; de zon heeft haar eigen beweging tussen de naburige sterren; deze sterren en de zon draaien weer om het centrum van onze melkweg. En ten slotte beweegt onze melkweg zich ten opzichte van miljarden andere melkwegen, die de astronomen gefotografeerd hebben.
Alles bij elkaar worden wij op een nogal ingewikkelde manier door het heelal getransporteerd; hoe precies, dat zullen we nooit kunnen zeggen, omdat het vaste punt ontbreekt ten opzichte waarvan wij onze beweging zouden kunnen bepalen.
Sommige van onze standpuntveranderingen hebben ons belangrijke gegevens in handen gespeeld: Rømer bepaalde in 1675 de lichtsnelheid, dank zij de beweging van de aarde om de zon.
Het bepalen van sterrenafstanden zou ook onmogelijk zijn als de aarde niet om de zon draaide. Deze beweging verschaft de astronoom een basis van 300 000 000 km en dat is juist voldoende om sterrenafstanden tot ca. 100 lichtjaren te bepalen. En op deze metingen berusten alle andere afstandsbepalingen die reiken tot miljarden lichtjaren.
We gaan nu echter met behulp van enige optische kunst-



140. De *Andromeda-nevel* „vanuit een ander standpunt”.



141. De *maan* „vanuit een ander standpunt”.

grepen standpunten in het heelal innemen, waarvan er één wel nooit door een mens ingenomen zal worden.
De maan keert altijd dezelfde kant naar de aarde. Dit houdt niet alleen in, dat nog niemand *met eigen ogen* de achterkant van de maan heeft gezien, maar ook, dat wij het maanlandschap altijd vanuit hetzelfde gezichtspunt zien. Projekteren we echter een maanfoto op een halve bol, dan kunnen we deze bol vanuit elk willekeurig standpunt fotograferen. Zo’n foto geeft dan de maan weer, zoals ze gezien zou worden vanuit een willekeurig standpunt.
Op perfekte wijze heeft men dit gedaan om elk gebied van de maan zo op de foto te krijgen alsof we loodrecht op het maanoppervlak kijken. Kraters die niet in het centrum van de maan

liggen, en die we als min of meer langgerekte ellipsen zien, worden op deze foto's alle cirkelvormig.
De gereproduceerde foto 141 is echter van een amateur, die met een gewone projektor werkte en de maan projekteerde op een halve houten bol, die mat-wit geschilderd was.
Het is zelfs mogelijk om spiraalnevels, die wij als ellipsen zien, zò af te beelden, dat het is alsof wij loodrecht op het vlak der spiraalarmen kijken. In foto 140 zien we de bekende Andromedanevel. We kijken nu loodrecht op de spiraalarmen. Omdat de Andromedanevel meer dan 2 miljoen lichtjaar van ons verwijderd is, zal het voor de mens wel altijd onmogelijk zijn een standpunt in het heelal in te nemen dat voor het maken van deze foto nodig zou zijn.
Als u een reproduktie maakt van een gewone foto van de Andromedanevel, zo dat uw kamera niet loodrecht boven de plaat staat, maar onder een bepaalde hoek, krijgt u foto 140.
Als u een kamera met matglas gebruikt of een spiegelreflexkamera, kunt u deze hoek juist bepalen, door zo in te stellen, dat de spiraalnevel vrijwel cirkelvormig wordt.
Archimedes moet eens gezegd hebben: geef mij een steunpunt (buiten de aarde) en ik zal de aarde optillen. Hij duidde hiermee op de hefboomwet. Is het niet veel frappanter te kunnen zeggen: geef mij een goede foto van de Andromedanevel, en ik zal je laten zien hoe die eruit ziet als we loodrecht op het vlak van zijn spiraalarmen kijken?

2. Stereoskopie

Als we van een tafereel twee foto's nemen vanuit twee verschillende standpunten, is het (onder bepaalde voorwaarden) mogelijk deze foto's zo te bekijken, dat we een ruimtelijke indruk krijgen van het tafereel. Hierop berust de stereofotografie.
Pogingen om stereo-paren van hemellichamen te verkrijgen, zodat men ze drie-dimensionaal kan zien, zijn reeds aangewend, zodra men in staat was hemellichamen te fotograferen. In het proefschrift van P. J. Kaiser (De toepassing der photographie op de sterrekunde; Leiden 1862) lezen we dat in maart 1858 te Kew, foto's van de zon werden gemaakt „die niet slechts de oneffenheden op dat ligchaam zeer duidelijk vertoonden, maar paarsgewijze vereenigd, zelfs goede stereo-

skopische voorstellingen van de zon aanboden (blz. 30).
„Een wel gekozen paar van de vermelde groote photographiën der maan (van Warren de la Rue), door eenen spiegelstereoskoop beschouwd, vertoonde haar ook op eene treffende wijze als een kogelvormig lichaam, waarop bergen en dalen, zich reeds bij den eersten blik, als hoogten en diepten openbaren. Deze stereoskopische voorstellingen van onzen wachter werden het eerst op het einde des jaars 1858 der koninklijke sterrekundige maatschappij te Londen voorgelegd, waar zij zich de algemeene bewondering verwierven." (blz. 68).

Zo fantastisch goed kunnen deze stereofoto's niet geweest zijn. Tot voor kort beschouwde men de stereoparen die Max Wolff uit de opnamen van de Parijse maanatlas bijeengezocht had (1900) als het beste op dit gebied. Maar zelfs deze stereofoto's kunnen de vergelijking met die van Anton Kutter (waarvan achterin een originele foto los is bijgevoegd) niet doorstaan.

In diezelfde beginperiode is men ook door stereofoto's van de maan op een „astronomisch dwaalspoor" gebracht. Het leek nl. net alsof de maan een naar ons toegekeerd buikje had, d.w.z. de maanmiddellijn die naar de aarde gekeerd staat zou groter zijn dan de middellijn loodrecht op deze richting. We weten nu dat dit niet waar is, maar in 1858 en nog enige tijd daarna werd er in de vaklitteratuur druk over gediscussieerd.

„Onder de photographische beelden van de planeten Jupiter en Saturnus, die de la Rue vervaardigd heeft, zijn er, die, twee aan twee te zamen verbonden, een stereoskopisch paar vormen. Jupiter moet zich, naar men zegt, als eenen enigszins afgeplatten kogel in den stereoskoop vertoonen, terwijl men bij de beelden van de planeet Saturnus, in dat werktuig beschouwd, het kogelvormig ligchaam duidelijk in den ring ziet zweven" (blz. 81, 82).

Wat zijn nu de mogelijkheden van de amateurs?

1. *Stereofoto's van de zon.* Door de aswenteling van de zon verplaatsen de zonnevlekken zich in één dag merkbaar. Foto's op twee achtereenvolgende dagen gemaakt kunnen een goed stereopaar vormen.

2. *Maan.* Omdat de maanbaan elliptisch is en z'n snelheid in deze baan varieert, terwijl toch de rotatie van de maan

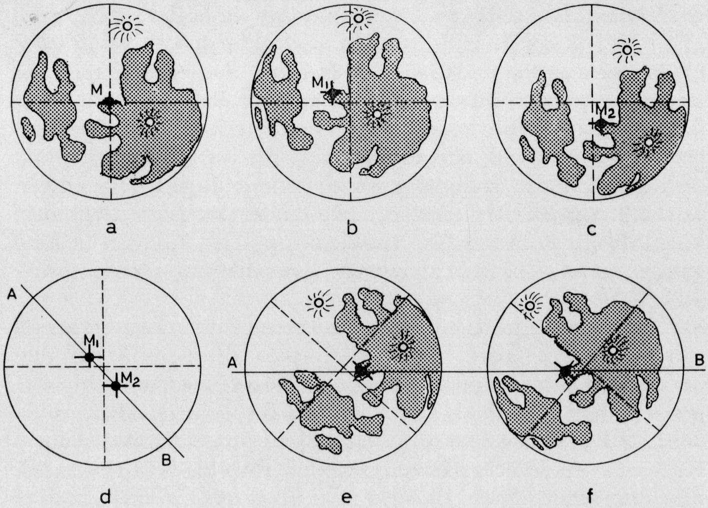


fig. 15

om z'n eigen as wel gelijkmatig is, zien we niet altijd precies hetzelfde deel van de maan. Het is alsof de maan in de loop van z'n baan langzaam een beetje ja knikt (libratie in de breedte) en nee schudt (libratie in de lengte). In figuur 15*a*, zijn libratie in lengte en breedte gelijk aan nul. In *b* en *c* zijn volle manen getekend waarin we het „midden van de maan" iets verschoven zien. In beide figuren heeft de maan een bepaalde libratie zowel in lengte als in breedte. Dit brengt met zich mee dat we in beide gevallen andere randpartijen van de maan zien dan in *a*, en tevens dat ook de vorm der verschillende getekende zeeën, vooral aan de rand wat anders is dan bij *a*.

Nemen we nu 2 volle-maan-foto's*) op twee verschillende tijdstippen, dan zullen deze in het algemeen libratieverschillen vertonen. We vergroten deze opnamen tot *precies dezelfde grootte*. Laten we aannemen dat fig. 15, *b* en *c* het resultaat zijn. Zouden we deze foto's op elkaar leggen (*d*) dan kunnen we door de punten M_1 en M_2 een lijn AB trekken. AB geeft

*) Dit kunnen eigen opnamen zijn, maar ook reprodukties van foto's door anderen genomen.

nu de oriëntering van beide foto's aan, als we die stereoskopisch willen waarnemen. Figuur 15 *e*, *f* geeft de uiteindelijke montering van het stereopaar. Voor de juiste oriëntering is het niet nodig M_1 en M_2 op de foto's te bepalen. We kunnen de foto's net zolang in de stereoskoop draaien tot de beelden versmelten. Interessanter zijn de foto's van niet-volle maan. We moeten eerst twee foto's uitzoeken waarop de maan „even oud" is. Bij deze twee foto's loopt dan de terminator op de *maanekwator* over dezelfde maanformatie en zijn de schaduwen daar op beide foto's even lang. Ongetwijfeld zullen 2 van zulke foto's, genomen op verschillende tijden libratieverschillen vertonen. Nu komt echter een komplikatie: al loopt de terminator in beide opnamen „over hetzelfde kratertje" van de maanekwator, dan is het nog mogelijk dat de stand van de terminator (de hoek die de terminator met de ekwator maakt) niet gelijk is. We kunnen dan niet de beide maanfoto's als geheel gebruiken, maar moeten die uitsnede ervan vergroten, waar de terminator op beide foto's vrijwel over dezelfde maanformaties loopt. Wat de oriëntering der foto's betreft, kunt u op dezelfde wijze te werk gaan als hierboven bij volle-maan-foto's is beschreven.

3. *Planeten en kometen.* Deze bewegen zich tussen de sterren. Als we op achtereenvolgende dagen (bij kometen behoeft het tijdsverschil zelfs maar enkele uren te zijn) foto's maken van dat gedeelte van de hemel waar ze zich bevinden, vormen telkens 2 van deze foto's een stereoskopisch paar. Als we ze in de juiste stand monteren en het stereopaar in de stereoskoop bekijken krijgen we de indruk dat het hemellichaam vóór de sterrenachtergrond zweeft.

3. Filmen

Met een 8 mm of 16 mm filmkamera, die uitgevoerd is met een éénbeeldknop zijn fraaie films te maken die het verloop van een zons- of maansverduistering versneld weergeven.
Plaatst men de kamera achter een teleskoop met niet te grote brandpuntsafstand (300—500 mm) dan kan men de beweging van zon en maan over enige graden aan de hemel vastleggen met de éénbeeldknop. We zagen hiervan prachtige door Franse amateurs opgenomen kleurenfilms.

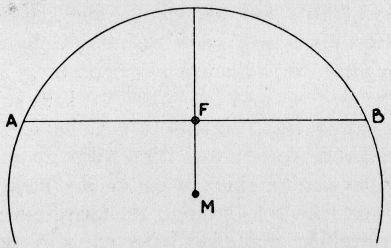


fig. 16. Als de kamera op ca 10f (f = brandpuntsafstand van de bolle spiegel) ligt, vinden we het beeld van de kamera ongeveer in F.

4. Een all-sky-kamera

Dit is een kamera, die een beeldhoek van ca. 180 graden heeft. Wil men dit bereiken met een objektief, dan is men aangewezen op lichtzwakke, zeer dure objektieven.
Men kan ook het beeld van de hele hemel in een bolle spiegel fotograferen. Het is weliswaar nadelig dat een klein gedeelte van de hemel bedekt wordt door de kamera en het kamerastatief, maar dat is niet te vermijden.

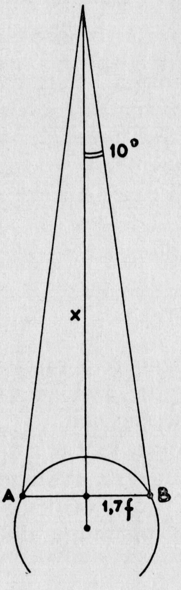


fig. 17. Als de kamera op een afstand 10f van de spiegel staat is het kleinbeeldformaat (met normaaloptiek) geheel gevuld.

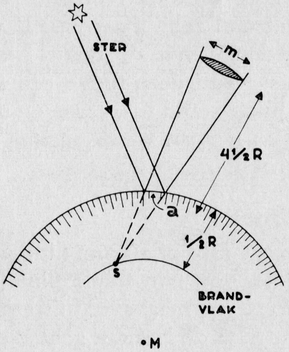


fig. 18. De berekening van de lichtsterkte van de kombinatie: kamera-bolle spiegel bij het fotograferen van sterren.

Welk deel van een bol moet de spiegel zijn, om een beeldhoek van 180 graden te verkrijgen?

Indien de kamera zich op een afstand van ca. 10 f van de bolle spiegel bevindt, (waarbij $f = \frac{1}{4}$ middellijn van de bol), ligt het beeld van de kamera heel dicht bij F (zie fig. 16). Het gezichtsveld wordt dus goed benaderd door vanuit F de lijnen FA en FB te trekken die een hoek van 180 graden vormen. Het is gemakkelijk te berekenen dat AB ongeveer 3,4f is. Zowel hieruit als uit de figuur is het duidelijk, dat we slechts een gedeelte van een halve bol nodig hebben om de hele hemel af te beelden.

De vulling van een kleinbeeldnegatief (fig. 17)

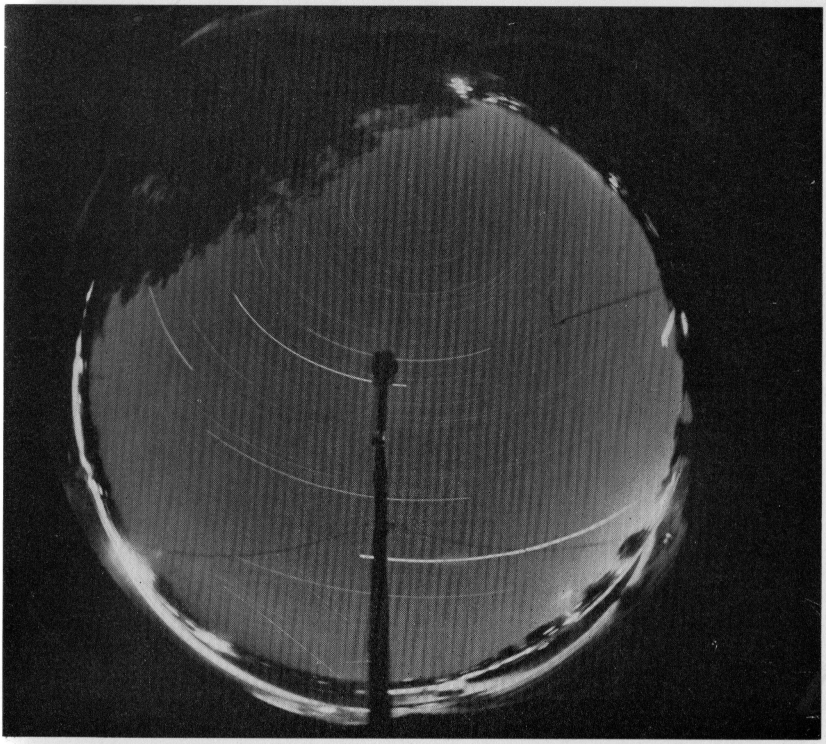
We fotograferen het beeld in de bolle spiegel met een kleinbeeldkamera en willen zoveel mogelijk van het negatief benutten.
Een 5-cm objektief geeft een beeldhoek van ca. 20° × 30°. Het beeld van de spiegel zal dus nog juist op het negatief kunnen, als de kamera de spiegel onder een hoek van 20° ziet. Met behulp van afbeelding 3 is gemakkelijk af te leiden dat:

$$\text{tg } 10^\circ = \frac{1{,}7 f}{x} \text{ dus } x = \frac{1{,}7 f}{\text{tg } 10^\circ}; \text{ vullen we voor tg } 10^\circ$$

in: 0,18, dan vinden we dat x ongeveer gelijk is aan 10 f, zodat de afstand van de kamera tot de spiegel ca. 9 f moet zijn. Nemen we 10 f, dan hebben we nog wat speling.

Gedeelte van het beeld dat door de kamera zelf bedekt wordt

Dit is natuurlijk afhankelijk van de grootte der kamera en ook van de afstand van de kamera tot de spiegel.
Maar is het ook afhankelijk van de grootte der spiegel? (aangenomen dat de spiegel een beeldhoek van 180° heeft). De kamera staat op een afstand 10 f van de spiegel, dat is dus de voorwerpsafstand v.
De beeldafstand (b) is ongeveer gelijk aan de brandpuntsafstand f. De vergroting is $V = \frac{b}{v}$ ofwel: $\frac{10 f.}{f}$ Als de kamera nu 15 cm lang is, dan is het virtuele beeld 1,5 cm en *dit is onafhankelijk van de grootte der spiegel!* Hieruit volgt dat bij



142. All-sky-opname met een glazen bol. (R. B. Stambaugh. U.S.A.)

grotere spiegels een kleiner gedeelte van de hemel door de kamera bedekt wordt.

De lichtsterkte van de kombinatie kamera-bolle spiegel

Dit is het moeilijkste probleem. We zullen dit nagaan:

a. voor het geval van een puntvormige lichtbron (voor sterrenfotografie).

b. voor het geval van een uitgebreide lichtbron (wolkenfoto's).

Probleem (*a*): Van een ster maken we een foto met een kleinbeeldkamera ($f = 5$ cm).

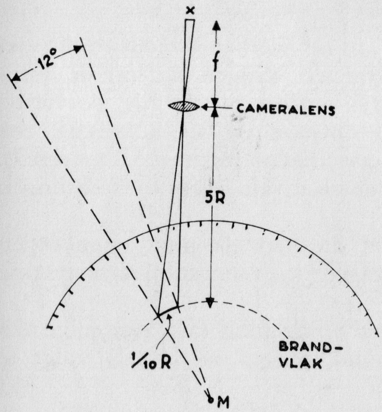


fig. 19. De lichtsterkte van de kombinatie: kamera-bolle spiegel (wolkenfotografie).

Nu maken we zo'n zelfde foto, maar via een bolle spiegel (kromtestraal R, afstand kamera-spiegel = 4,5 R).

Gevraagd: Hoe moeten de belichtingstijden zich verhouden om hetzelfde effekt op de gevoelige plaat te krijgen?

Oplossing van a.

Met enige kleine vereenvoudigingen nemen we het volgende aan (figuur 18):
m = gebruikte middellijn v/h objektief.
S = 't virtuele beeld van de ster; op een afstand $\frac{1}{2}$R van de spiegel.
Als de kamera rechtstreeks op de ster was gericht, zou de middellijn van het lichtbundeltje dat opgevangen werd m zijn. Nu is het a.

$\frac{a}{m} = \frac{\frac{1}{2}R}{5R} = \frac{1}{10}$ $a = \frac{1}{10} m$; m.a.w.: er valt nu maar $\frac{1}{100}$ van het licht van de ster in de lens, vergeleken met een rechtstreekse foto. Dus: de belichtingstijd is 100 x zo groot.*)

Probleem (*b*): Hetzelfde probleem als *a*, maar nu van een *niet* puntvormige lichtbron, bijv. een wolk. Nemen we aan dat de wolk 12° „in het vierkant" is.

*) Afgezien van het schwarzschildeffekt, want dit zou de belichtingstijd ca. $100 \sqrt[3]{100}$ (= 465) maal zo groot maken.

Oplossing van b. (figuur 19).

Als we een wolkje van 12° „in het vierkant" rechtstreeks met de kleinbeeldkamera fotograferen, krijgen we op de fotografische plaat een vierkantje van ca. 1 cm². Als we via de bolle spiegel fotograferen, ontstaat in het brandvlak een beeldje van $\frac{1}{10}$ R (nl. $\frac{1}{30}$ van een cirkelomtrek met $\frac{1}{2}$ R tot straal). De hoeveelheid licht die op de plaat valt is nu van twee dingen afhankelijk:

1. van de hoeveelheid licht die van elk punt opgevangen wordt. (Dit is zoals we in *a* zagen $^1/_{100}$ van wat bij rechtstreekse fotografie erop valt).

2. van de grootte van het beeld op de plaat (x). Met enige niet verder omschreven vereenvoudigingen is dat als volgt te berekenen:

$$\frac{x}{\frac{1}{10}R} = \frac{f}{5R};\ x = \frac{f}{50} = \frac{5}{50} = \frac{1}{10}.$$

Door de verkleining van het beeld wordt de gevraagde belichtingstijd dus $(\frac{1}{10})^2 = \frac{1}{100}$ maal zo klein.

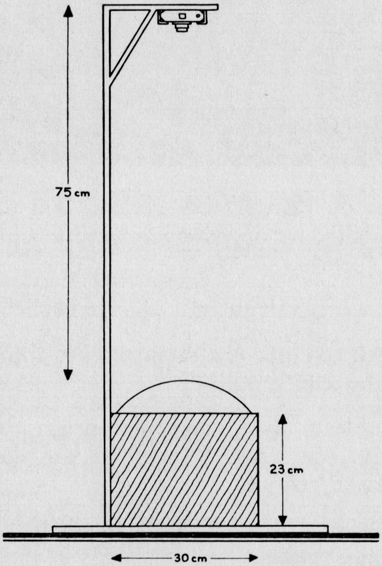


fig. 20. Statief voor de all-sky-kamera.

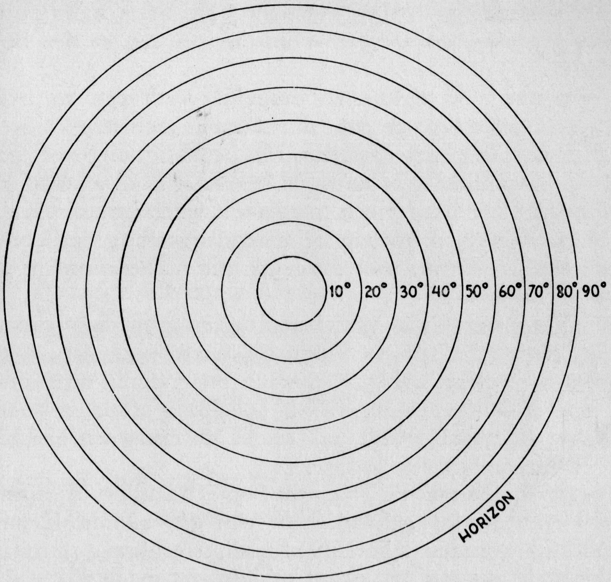


fig. 21. De horizon is op de foto's met de all-sky-kamera niet erg „samengeknepen".

De eindkonklusie bij *b* is dus: *De belichtingstijd is dezelfde*, als we via de spiegel, dan wel rechtstreeks fotograferen.
Het blijkt dus, dat de toepassing van deze soort all-sky-kamera voor *sterrenfotografie* tot lange belichtingstijden voert; bij het fotograferen van uitgebreide objekten niet.

Nu de praktijk! De firma Bosch en Wesselo, Nieuwe Doelenstraat 10, Amsterdam, levert verzilverde glazen bollen van goede kwaliteit van 20, 25 en 30 cm middellijn (prijzen resp.: *f* 14,—; *f* 16,— en *f* 18,50).
Voor een bol van 30 cm middellijn wordt een kartonnen doos gemaakt met een grondvlak van 30 × 30 cm en opstaande zijvlakken van 23 cm hoogte. Daarin wordt de bol gelegd met de meest gave kant naar boven. (Er komen kleine onregelmatigheden in de bol voor, maar in de meeste gevallen kan men een gedeelte uitzoeken dat vrijwel geen

enkele storende afwijking vertoont.) De doos wordt op de grond gezet en de kamera wordt er op een statief boven geplaatst.
De opbouw is in figuur 20 duidelijk weergegeven. Als u een spiegelreflexkamera gebruikt, kunt u rechtstreeks op het beeld in de spiegel scherpstellen. Het beeld ligt ongeveer gelijk met de bovenrand van de doos, zodat u deze afstand kunt instellen als het niet op een matglas of in een zoeker kan.
Bij sterrenopnamen moet u de afstandsinstelling van tevoren doen. Het is vrijwel niet mogelijk dit in het donker voor elkaar te krijgen
Ook moet u zich ervan verzekeren dat er geen dauwvorming op de glazen bol plaats vindt bij sterrenopnamen, anders worden de beelden wazig. Remedie: fotograferen op avonden met weinig dauwvorming, of: de belichting afbreken voordat de dauw zichtbaar wordt, of: onder de doos een elektrisch verwarmingsapparaatje aanbrengen.
Sterrenopnamen met de 30 cm-bol op Kodak Tri-X, normaal ontwikkeld en bij gebruik van een *f*/2 kleinbeeldkamera gaven bij 5 minuten belichting al aardige resultaten (foto 142). Is het beeld nu erg vervormd of lijkt dat maar zo?
Figuur 21 geeft cirkels aan op verschillende zenitafstanden. U ziet dat het beeld aan de horizon wel iets samengeknepen is maar niet noemenswaard.

Inhoud

1 Honderd miljoen foto's van de Eiffeltoren 7
2 Objektief en film 19
3 Sterrensporen met een stilstaande kamera 40
4 Kamera en kameraopstellingen 53
5 Het fotograferen van de zon, de maan, de planeten, kometen, nevels en sterren 71
6 Het fotograferen van kunstmanen 105
7 Meteorenfotografie 115
8 Het fotograferen van sterrenspektra 126
9 Het werken met diepgekoelde emulsies 161
10 Kanttekeningen 175

Bruno Ernst

THIEME'S STERRENFOTOBOEK

Na 1900 is astrofotografie de belangrijkste informatiebron voor de astronomen geworden. Vanzelfsprekend hebben zich ook vele amateurastronomen toegelegd op de fotografie van de hemellichamen. Dat in ons land door amateurs nog weinig aan sterrenfotografie gedaan wordt is in belangrijke mate te wijten aan het ontbreken van duidelijke en uitgebreide instruktie op dit gebied.

Dit handboek voor amateurastronomen (en wellicht ook voor fotografen die zich interesseren voor de sterrenhemel) belicht de achtergrond van de fotografie der hemellichamen en maakt het zodoende mogelijk, dat iedere geïnterresseerde, ook al beschikt hij over primitieve apparatuur, daarmee maximale resultaten kan bereiken. Verder geeft het in meer dan 200 astronomische foto's (waarvan 17 in kleurendruk) een stimulerend verslag van het werk van andere amateur-astronomen.

De schrijver, directeur van de eerste Nederlandse volkssterrenwacht heeft het materiaal gekozen uit een uitgebreide verzameling van collega's en vrienden in binnen- en buitenland. Zo is een uitgave ontstaan die kwalitatief en kwantitatief kan wedijveren met het beste dat in andere landen over sterrenfotografie voor de amateur verschenen is.